



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: CONSTRUÇÃO CIVIL
LINHA DE PESQUISA: MATERIAIS E PROCESSOS CONSTRUTIVOS

Avaliação dos metais pesados presentes nos agregados reciclados de resíduos da construção e demolição (RCD) e influência no potencial de lixiviação de matrizes cimentícias

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina como parte dos requisitos necessários a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

CECÍLIA OGLIARI SCHAEFER
ORIENTADORA: JANAÍDE CAVALCANTE ROCHA
FLORIANÓPOLIS, JUNHO DE 2007.

"Bom mesmo é ir à luta com determinação, abraçar a vida e viver com paixão. Perder com classe e vencer com ousadia, pois o triunfo pertence a quem mais se atreve. E a vida é muito para ser insignificante". (Charles Chaplin)

AGRADECIMENTOS

Agradeço à professora Janaíde por ter me acolhido aqui na universidade e me orientado durante esses dois anos de mestrado. Espero que seja o início de uma longa caminhada.

Agradeço aos meus pais, meus maiores motivadores e incentivadores para a concretização dessa conquista. Serei eternamente grata a vocês, eu não teria chegado até aqui se não fosse pelo grande apoio e esforço que sempre ofereceram de coração aberto!

Ao meu marido Henrique Schaefer por ter oferecido seu ombro em todos os momentos de dificuldade. Obrigada por estar presente transmitindo segurança e participando também na minha vida em laboratório.

À minha amiga Gilmene Bianco que me ajudou muito nos primeiros meses de trabalho. Ela é aquela pessoa que mesmo longe sei que posso recorrer quando precisar. Obrigada pelos ensinamentos e pelas brilhantes dicas.

À Flora que compartilhou comigo a experiência de fazer mestrado, principalmente no início do meu segundo ano.

Ao professor João Cardoso por ter cedido seu laboratório para o pastilhamento das amostras e também para a realização do ensaio de difração.

Aos amigos do Grupo ValoRes: Leonardo, Ruben, Jefferson, Ligia e Giovana. São pessoas que recorri nos momentos de dúvida e que sempre ajudaram.

À FINEP Habitare pelo apoio financeiro e ao CNPq.

À todos que de uma forma ou outra contribuíram para a realização da presente pesquisa.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	VI
LISTA DE TABELAS.....	IX
LISTA DE ABREVIações	XI
RESUMO.....	XII
ABSTRACT	XIII
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 Objetivos.....	3
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
2.1 Metais pesados.....	5
2.2 Metais pesados e os agregados reciclados.....	6
2.3 Características dos agregados reciclados de RCD obtidos em processo de beneficiamento.....	8
2.4 Propriedades dos materiais cimentícios produzidos com agregado reciclado.....	12
2.5 Procedimentos de lixiviação.....	20
3 MATERIAL E MÉTODOS	24
3.1 Programa experimental	24
3.2 Materiais utilizados.....	26
3.2.1 Agregados reciclados de RCD.....	28
3.2.1.1 Coleta dos agregados reciclados de RCD	28
3.2.1.2 Identificação dos metais pesados por FRX portátil.....	32
3.2.1.3 Distribuição granulométrica dos agregados reciclados	34
3.3 Métodos.....	36
3.3.1 Densidade	36
3.3.2 Energia de dispersão de raios-X (EDX).....	37
3.3.3 Difração de raios-X (DRX).....	37
3.3.4 Lixiviação.....	38
3.3.5 Solubilização.....	40
3.3.6 Ensaio de tanque	41
4 ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	44
4.1 Densidade dos agregados reciclados	44
4.2 Análise química dos agregados reciclados.....	44
4.2.1 Amostras de agregados reciclados de RCD da usina SBC.....	44
4.2.2 Amostras de agregados reciclados de RCD da usina URM.....	47

4.3	Lixiviação dos agregados reciclados.....	50
4.4	Solubilização dos agregados reciclados.....	58
4.5	Comparativo lixiviação e solubilização.....	65
4.6	Lixiviação do material monolítico produzido com agregado reciclado.....	69
4.6.1	<i>Elementos lixiviados das argamassas produzidas com agregado reciclado</i>	69
4.6.1.1	<i>Resultados obtidos ao longo dos 64 dias do ensaio de tanque.....</i>	69
4.6.1.2	<i>Cinética dos elementos lixiviados das argamassas.....</i>	77
4.6.1.3	<i>Cinética dos metais pesados lixiviados das argamassas.....</i>	83
4.6.2	<i>Influência dos valores de pH e condutividade elétrica</i>	105
4.6.3	<i>Difusividade.....</i>	114
4.6.4	<i>Análise térmica diferencial e difração de raios -X.....</i>	121
4.6.5	<i>Comparativo com a NBR 10004 e outras normas</i>	124
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	130
5.1	Conclusões.....	130
5.2	Sugestões para pesquisas futuras.....	133
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	134
	ANEXO 1: DADOS DO ENSAIO DE TANQUE	140

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Difratoograma do agregado graúdo reciclado e do agregado natural (miúdo e graúdo)	10
Figura 2 - XRF: Variação da SiO_2 , CaO , Al_2O_3 e Fe_2O_3 nas diferentes faixas granulométricas dos RCD reciclados	11
Figura 3 - Desenvolvimento da resistência à compressão ao longo do tempo	13
Figura 4 - Relação entre resistência à compressão e relação água/cimento	14
Figura 5 - Efeito do teor de CC e CB na resistência à compressão	14
Figura 6 - (a) Condutividade elétrica x tempo (b) Liberação de cálcio e potássio no concreto com agregado natural e reciclado	16
Figura 7 - Concentração lixiviada de metais pesados das argamassas	19
Figura 8 - Desenho esquemático do ensaio de coluna	22
Figura 9 - Esquema geral do programa experimental	25
Figura 10 - Planta SBC	28
Figura 11 - Areia produzida pela usina SBC	29
Figura 12 - Planta URM	29
Figura 13 - Areia produzida pela URM	30
Figura 14 - Pontos de coleta do agregado miúdo reciclado	31
Figura 15 - Detecção prévia de metais	32
Figura 16 - Espectrograma das amostras SBC e URM nos diferentes pontos de coleta	34
Figura 17 - Distribuição granulométrica do agregado miúdo reciclado SBC	35
Figura 18 - Distribuição granulométrica do agregado miúdo reciclado URM	35
Figura 19 - Picnômetro de hélio, marca Quantachrome	37
Figura 20 - Procedimentos para determinação da solução de extração	38
Figura 21 - Equipamento utilizado no ensaio de lixiviação	39
Figura 22 - Procedimento geral do ensaio de lixiviação executado	40
Figura 23 - Recipiente utilizado no ensaio de tanque	43
Figura 24 - Espectrograma dos agregados reciclados SBC nas faixas granulométricas inferior a 0,075 e 2,40 mm	46
Figura 25 - Diagrama apresentando as variações de SiO_2 , Al_2O_3 , CaO e Fe_2O_3 nas diferentes frações SBC	46
Figura 26 - Concentração dos metais pesados nas frações granulométricas SBC	47
Figura 27 - Espectrograma dos agregados reciclados URM nas faixas granulométricas 0,60 e 1,20 mm	49
Figura 28 - Diagrama apresentando as variações de SiO_2 , Al_2O_3 , CaO e Fe_2O_3 nas diferentes frações URM	49
Figura 29 - Concentração dos metais de transição nas frações granulométricas URM	50
Figura 30 - Concentração média dos elementos lixiviados nas amostras SBC e URM (mg/L)	53
Figura 31 - Concentração média do As, Cd, Cr, Cu, Fe, Se e Zn nas amostras SBC e URM	54
Figura 32 - Concentração média do Ca em função da faixa granulométrica	54
Figura 33 - Concentração média lixiviada (mg/L) do Se, Cr, Cd e As e limites NBR 10004	56
Figura 34 - Valores de pH antes e depois do ensaio de lixiviação	57
Figura 35 - Concentração média do As, Cd, Cr, Se em função do pH	57
Figura 36 - Concentração média dos elementos solubilizados nas amostras SBC e URM (mg/L)	58
Figura 37 - Concentração média solubilizada do Ca e Cl em função das frações granulométricas nas amostras SBC e URM	61
Figura 38 - Concentração média solubilizada SBC do As, Cd, Cu, Cr e limites NBR 10004	62
Figura 39 - Concentração média solubilizada URM do Fe, Mn, Se, Zn e limites NBR 10004	63
Figura 40 - pH em função da granulometria nas amostras SBC e URM	63
Figura 41 - Concentração média (mg/L) dos elementos considerados pela NBR 10004 para extrato solubilizado em função do pH	65
Figura 42 - Percentual lixiviado do agregado reciclado bruto nos distintos pontos de coleta SBC	66
Figura 43 - Percentual lixiviado do agregado reciclado bruto nos distintos pontos de coleta URM	67

Figura 44 - Percentual solubilizado do agregado reciclado bruto nos distintos pontos de coleta SBC	68
Figura 45 - Percentual solubilizado do agregado reciclado bruto nos distintos pontos de coleta URM	68
Figura 46 - Lixiviação acumulada (mg/m^2) do Ca em função da raiz do tempo (h) nas argamassas REF, SBC e URM nas frações granulométricas inferior a 0,15 e 0,15 mm	78
Figura 47 - Lixiviação acumulada (mg/m^2) do Ca em função da raiz do tempo (h) nas argamassas REF, SBC e URM nas frações granulométricas 0,30 e 0,60 mm	79
Figura 48 - Lixiviação acumulada (mg/m^2) do Ca em função da raiz do tempo (h) nas argamassas REF, SBC e URM nas frações granulométricas 1,20 e 2,40 mm	80
Figura 49 - Lixiviação acumulada (mg/m^2) do Cl em função da raiz do tempo (h) nas argamassas REF, SBC e URM nas frações granulométricas inferior a 0,15 e 0,15 mm	81
Figura 50 - Lixiviação acumulada (mg/m^2) do Cl em função da raiz do tempo (h) nas argamassas REF, SBC e URM nas frações granulométricas 0,30 e 0,60 mm	82
Figura 51 - Lixiviação acumulada (mg/m^2) do Cl em função da raiz do tempo (h) nas argamassas REF, SBC e URM nas frações granulométricas 1,20 e 2,40 mm	83
Figura 52 - Concentração acumulada lixiviada dos metais pesados ao longo dos 64 dias de ensaio nas argamassas de 3 dias (mg/m^2)	85
Figura 53 - Concentração acumulada lixiviada dos metais pesados ao longo dos 64 dias de ensaio nas argamassas de 7 dias (mg/m^2)	86
Figura 54 - Concentração acumulada lixiviada dos metais pesados ao longo dos 64 dias de ensaio nas argamassas com 28 dias (mg/m^2)	87
Figura 55 - Lixiviação acumulada (mg/m^2) do As ao longo do tempo nas argamassas REF, SBC e URM nas faixas granulométricas inferior a 0,15 e 0,15 mm	88
Figura 56 - Lixiviação acumulada (mg/m^2) do As ao longo do tempo nas argamassas REF, SBC e URM nas faixas granulométricas 0,30 e 0,60 mm	89
Figura 57 - Lixiviação acumulada (mg/m^2) do As ao longo do tempo nas argamassas REF, SBC e URM nas faixas granulométricas 1,20 e 2,40 mm	90
Figura 58 - Lixiviação acumulada (mg/m^2) do Cd ao longo do tempo nas argamassas REF, SBC e URM nas faixas granulométricas inferior a 0,15 e 0,15 mm	91
Figura 59 - Lixiviação acumulada (mg/m^2) do Cd ao longo do tempo nas argamassas REF, SBC e URM nas faixas granulométricas 0,30 e 0,60 mm	92
Figura 60 - Lixiviação acumulada (mg/m^2) do Cd ao longo do tempo nas argamassas REF, SBC e URM nas faixas granulométricas 1,20 e 2,40 mm	93
Figura 61 - Lixiviação acumulada (mg/m^2) do Cu ao longo do tempo nas argamassas REF, SBC e URM nas faixas granulométricas inferior a 0,15 e 0,15 mm	94
Figura 62 - Lixiviação acumulada (mg/m^2) do Cu ao longo do tempo nas argamassas REF, SBC e URM nas faixas granulométricas 0,30 e 0,60 mm	95
Figura 63 - Lixiviação acumulada (mg/m^2) do Cu ao longo do tempo nas argamassas REF, SBC e URM nas faixas granulométricas 1,20 e 2,40 mm	96
Figura 64 - Lixiviação acumulada (mg/m^2) do Mn ao longo do tempo nas argamassas REF, SBC e URM nas faixas granulométricas inferior a 0,15 e 0,15 mm	97
Figura 65 - Lixiviação acumulada (mg/m^2) do Mn ao longo do tempo nas argamassas REF, SBC e URM nas faixas granulométricas 0,30 e 0,60 mm	98
Figura 66 - Lixiviação acumulada (mg/m^2) do Mn ao longo do tempo nas argamassas REF, SBC e URM nas faixas granulométricas 1,20 e 2,40 mm	99
Figura 67 - Lixiviação acumulada (mg/m^2) do Zn ao longo do tempo nas argamassas REF, SBC e URM nas faixas granulométricas inferior a 0,15 e 0,15 mm	100
Figura 68 - Lixiviação acumulada (mg/m^2) do Zn ao longo do tempo nas argamassas REF, SBC e URM nas faixas granulométricas 0,30 e 0,60 mm	101
Figura 69 - Lixiviação acumulada (mg/m^2) do Zn ao longo do tempo nas argamassas REF, SBC e URM nas faixas granulométricas 1,20 e 2,40 mm	102
Figura 70 - Lixiviação acumulada (mg/m^2) do Fe em função da raiz do tempo (h) nas argamassas REF, SBC e URM nas frações granulométricas inferior a 0,15 e 0,15 mm	103
Figura 71 - Lixiviação acumulada (mg/m^2) do Fe em função da raiz do tempo (h) nas argamassas REF, SBC e URM nas frações granulométricas 0,30 e 0,60 mm	104
Figura 72 - Lixiviação acumulada (mg/m^2) do Fe em função da raiz do tempo (h) nas argamassas REF, SBC e URM nas frações granulométricas 1,20 e 2,40 mm	105
Figura 73 - Valores de pH ao longo do tempo nas argamassas produzidas com agregados de dimensões inferior a 0,15 e 0,15 mm	106

Figura 74 - Valores de pH ao longo do tempo nas argamassas produzidas com agregados de dimensões 0,30 e 0,60 mm	107
Figura 75 - Valores de pH ao longo do tempo nas argamassas produzidas com agregados de dimensões 1,20 e 2,40 mm	108
Figura 76 – Concentração do Ca (mg/m^2) em função do pH nas argamassas REF, SBC e URM nas frações granulométricas inferior à 0,15 e 0,15 mm	109
Figura 77 - Concentração do Ca (mg/m^2) em função do pH nas argamassas REF, SBC e URM nas frações granulométricas 0,30 e 0,60 mm	110
Figura 78 - Concentração do Ca (mg/m^2) em função do pH nas argamassas REF, SBC e URM nas frações granulométricas 1,20 e 2,40 mm	111
Figura 79 – Condutividade elétrica em função tempo (horas) nas argamassas REF, SBC e URM com agregados nas frações inferior à 0,15 e 0,15 mm.....	112
Figura 80 - Condutividade elétrica em função do tempo (horas) nas argamassas REF, SBC e URM com agregados nas frações 0,30 e 0,60 mm	113
Figura 81 - Condutividade elétrica em função do tempo (horas) nas argamassas REF, SBC e URM com agregados nas frações 0,30 e 0,60 mm	114
Figura 82 – Concentração (mg/m^2) e difusividade (m^2/s) do Cu em função do tempo nas argamassas SBC e URM com agregados reciclados de dimensão <0,15mm	119
Figura 83 - Concentração (mg/m^2) e difusividade (m^2/s) do Cu em função do tempo nas argamassas SBC e URM com agregados reciclados de dimensão 2,40 mm	119
Figura 84 - ATD argamassas com 3 dias	122
Figura 85 - ATD argamassas com 7 dias	122
Figura 86 - ATD argamassas com 28 dias.....	123
Figura 87 - Difractogramas das argamassas REF, SBC e URM 0,15 e 2,40mm.....	124

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Contribuição dos resíduos da construção e demolição aos RSU urbanos.....	1
Tabela 2 - Metais pesados e alguns efeitos.....	5
Tabela 3 - Composição química do agregado reciclado (RCA) e do agregado natural (NA)	9
Tabela 4 - Concentração total de metais nos finos de RCD na Flórida (mg/Kg)	11
Tabela 5 - Concentração lixiviada de metais nos finos de RCD na Flórida (mg/l).....	12
Tabela 6 - Composição do concreto (Kg/m ³)	13
Tabela 7 - Proporção de materiais para dosagem de concreto (Kg/m ³).....	15
Tabela 8 - Resultados da intrusão de mercúrio	15
Tabela 9 - Concentração de metais pesados presentes no concreto	17
Tabela 10 - Concentração lixiviada x limite estabelecido na Diretiva (mg/l).....	18
Tabela 11 - Proporcionamento de materiais e propriedades das argamassas.....	19
Tabela 12 - Teor de metais pesados nos materiais utilizados (mg/Kg)	19
Tabela 13 - Comparação entre os ensaios de lixiviação.....	22
Tabela 14 - Síntese dos ensaios e procedimentos a serem realizados.....	26
Tabela 15 - Composição química (% em massa) do cimento CP I – S	27
Tabela 16 - Metais presentes no cimento (n=3).....	27
Tabela 17 - Amostras da fração miúda coletadas.....	30
Tabela 18 - Concentração dos elementos obtidos na análise química por FRX portátil das amostras SBC (mg/Kg)	33
Tabela 19 - Concentração dos elementos obtidos na análise química por FRX portátil das amostras URM (mg/Kg).....	33
Tabela 20 - Características dos agregados reciclados	36
Tabela 21 - Proporcionamento de materiais das argamassas.....	41
Tabela 22 - Densidade das argamassas no início do ensaio de tanque (g/dm ³).....	42
Tabela 23 - Resistência à compressão das argamassas nas idades de 3, 7 e 28 dias (MPa).....	42
Tabela 24 - Densidade dos agregados reciclados (g/cm ³)	44
Tabela 25 - Teores dos óxidos (%) obtidos na análise química das faixas granulométricas SBC (n=4)	45
Tabela 26 - Teores dos óxidos (%) obtidos na análise química das faixas granulométricas URM	48
Tabela 27 - Concentração média lixiviada dos elementos nas diferentes faixas granulométricas SBC (mg/L).....	51
Tabela 28 - Concentração média lixiviada dos elementos nas diferentes faixas granulométricas URM (mg/L).....	52
Tabela 29 - Concentração média solubilizada dos elementos nas diferentes faixas granulométricas SBC (mg/L)	59
Tabela 30 - Concentração média solubilizada dos elementos nas diferentes faixas granulométricas URM (mg/L).....	60
Tabela 31 - Lixiviação dos elementos (mg/L) ao longo dos 64 dias nas argamassas REF, SBC e URM nas faixas granulométricas inferior a 0,15 e 0,15 mm	70
Tabela 32 - Lixiviação dos elementos (mg/L) ao longo dos 64 dias nas argamassas REF, SBC e URM nas faixas granulométricas 0,30 e 0,60 mm	71
Tabela 33 - Lixiviação dos elementos (mg/L) ao longo dos 64 dias nas argamassas REF, SBC e URM nas faixas granulométricas 1,20 e 2,40 mm	72
Tabela 34 - Lixiviação dos elementos (mg/Kg) ao longo dos 64 dias nas argamassas REF, SBC e URM nas faixas granulométricas inferior a 0,15 e 0,15 mm	74
Tabela 35 - Lixiviação dos elementos (mg/Kg) ao longo dos 64 dias nas argamassas REF, SBC e URM nas faixas granulométricas 0,30 e 0,60 mm.....	75
Tabela 36 - Lixiviação dos elementos (mg/Kg) ao longo dos 64 dias nas argamassas REF, SBC e URM nas faixas granulométricas 1,20 e 2,40 mm.....	76
Tabela 37 - Difusividade nas amostras SBC com idade de 3 dias (m ² /s)	115
Tabela 38 - Difusividade nas amostras SBC com idade de 7 dias (m ² /s)	116
Tabela 39 - Difusividade nas amostras SBC com idade de 28 dias (m ² /s)	116
Tabela 40 - Difusividade nas amostras URM com idade de 3 dias (m ² /s).....	117
Tabela 41 - Difusividade nas amostras URM com idade de 7 dias (m ² /s).....	117

Tabela 42 - Difusividade nas amostras URM com idade de 28 dias (m ² /s)	118
Tabela 43 – Difusividade máxima e final das argamassas SBC e URM < 0,15 e 0,15mm, idade de 28 dias.....	120
Tabela 44 - Difusividade máxima e final das argamassas SBC e URM 0,30 e 0,60mm, idade de 28 dias.....	120
Tabela 45 - Difusividade máxima e final das argamassas SBC e URM 1,20 e 2,40mm, idade de 28 dias.....	121
Tabela 46 – Concentração lixiviada diária dos metais pesados (mg/L)	125
Tabela 47 – Concentração lixiviada diária dos metais pesados (mg/L)	125
Tabela 48 - Concentração lixiviada diária dos metais pesados (mg/L)	126
Tabela 49 – Lixiviação acumulada (mg/m ²) dos metais pesados e limites estabelecidos pela NEN 7345 – Argamassas com 3 dias	127
Tabela 50– Lixiviação acumulada (mg/m ²) dos metais pesados e limites estabelecidos pela NEN 7345 – Argamassas com 7 dias	128
Tabela 51– Lixiviação acumulada (mg/m ²) dos metais pesados e limites estabelecidos pela NEN 7345 – Argamassas com 28 dias.....	128

LISTA DE ABREVIações

a/c	relação água/cimento
ASTM	American Society for Testing and Materials
ATD	Análise Térmica Diferencial
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CCA	Arsenato de Cobre Cromatado
CV	coeficiente de variação
DP	desvio padrão
DRX	Difração de Raios-X
EDX	Energia Dispersiva de Raios-X
EP	Extraction Procedure Toxicity
EPA	Environmental Protection Agency
FRX	Fluorescência de raios-X
ICP-MS	Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry
ICP-AES	Inductively coupled plasma atomic emission spectroscopy
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas
L/S	Líquido/sólido
NBR	Norma Brasileira de Referência
NEN	Nederlandse Normalisatie-instituut
RCD	Resíduos da Construção e Demolição
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
SPLP	Synthetic Precipitation Leaching Procedure
TCLP	Toxicity Characteristic Leaching Procedure
TCLP	Toxicity Characteristic Leaching Procedure
WET	Waste Extraction Test
ValoRes	Laboratório de Valorização de Resíduos

RESUMO

A presente pesquisa teve como enfoque a avaliação da liberação de metais pesados dos agregados reciclados provenientes do beneficiamento de resíduos de construção e demolição (RCD). A primeira etapa do trabalho compreendeu um estudo de caso executado nas pilhas de agregados reciclados em duas centrais de beneficiamento de RCD. Em laboratório, esses agregados foram fracionados em faixas granulométricas nas seguintes dimensões (mm): 2,40; 1,20; 0,60; 0,30; 0,15; 0,075 e inferior a 0,075. Executou-se a análise da composição química dos agregados reciclados fracionados, posteriormente foram realizados os ensaios de lixiviação e solubilização, conforme NBR 10005 e 10006 (2004), respectivamente. Para a avaliação dos metais pesados de componentes monolíticos, foram produzidas argamassas utilizando os agregados reciclados fracionados. As argamassas foram conduzidas ao ensaio de tanque, executado conforme a norma NEN 7345. Os resultados demonstram que metais pesados estão presentes em pilhas de agregados reciclados dispostas nas centrais de beneficiamento de RCD. Os resultados da lixiviação e solubilização dos agregados fracionados mostraram concentrações de metais pesados superiores aos limites recomendados pela NBR 10004 (2004). Através do estudo nos materiais monolíticos visualizou-se a cinética de liberação dos metais pesados ao longo do tempo e também foram observados os parâmetros tais como pH e condutividade elétrica. Os extratos lixiviados das matrizes monolíticas mostram que os metais pesados encontram-se dentro dos limites da norma brasileira (NBR 10004).

Palavras-chave: agregados reciclados, metais pesados, lixiviação, solubilização.

ABSTRACT

This research focused on the assessment of heavy metals release from recycled aggregates derived from the manufacturing of construction and demolition waste (CDW). The first part of the work comprehended the case study of recycled aggregates piles from two CDW recycling facilities. In the laboratory, these aggregates were sieved into the following sizes (mm): 2.40; 1.20; 0.60; 0.30; 0.15; 0.075 and below 0,075. The recycled aggregates chemical composition analyses were done, and later, leaching and solubilization tests were carried out according to NBR 10005 and 10006(2004), respectively. For the heavy metals assessment from monolithic components, mortar samples were produced using the sieved recycled aggregates. The mortar samples were submitted to the Tank Test according to NEN 7345. The results reveal that heavy metals are present in recycled aggregates piles from CDW recycling facilities. The results of the leaching and solubilization of the sieved aggregates revealed heavy metals concentrations above the maximum limits recommended by NBR 10004(2004). Through the study in the monolithic materials, the heavy metals release kinetics was observed, as well as parameters, such as pH and electric conductivity. The leaching extracts from monolithic matrixes revealed that the heavy metals are below the limits for the Brazilian code (NBR 10004).

Keywords: recycled aggregates, heavy metals, leaching, solubilization.

1 INTRODUÇÃO

Conforme a resolução 307 do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA (2002), os resíduos da construção civil podem ser definidos como aqueles provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil e os resultantes da preparação e da escavação de terrenos. Segundo John e Agopyan (2000) o resíduo da construção é gerado em três fases: a) fase de construção: decorrente das perdas na construção, onde parte dessas perdas fica incorporada à edificação e a outra parcela se converte em resíduo; b) fase de manutenção e reformas: geração de resíduos decorrentes da correção de defeitos, reformas ou modernização de edificações; c) demolição de edifícios: para minimização dos resíduos gerados nessa fase poderia ser incentivada a tecnologia de desconstrução que possibilite a reutilização dos componentes.

São resíduos da construção e demolição (RCD): tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras e compensados, forros, argamassa, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica etc., comumente chamados de entulhos de obras (CONAMA, 2002).

A indústria da construção civil e seus resíduos gerados representam uma grande parcela dos resíduos sólidos municipais. Os seguintes números são apontados sobre os RCD e sua contribuição aos resíduos sólidos urbanos (RSU):

Tabela 1 - Contribuição dos resíduos da construção e demolição aos RSU urbanos

Município	% em relação aos RSU
Ribeirão Preto-SP	70
São José dos Campos-SP	67
Piracicaba-SP	67
Campinas-SP	64
Jundiaí-SP	62
São José do Rio Preto-SP	58
Diadema-SP	57
São Paulo-SP	55
Santo André-SP	54
Garulhos-SP	50
Blumenau-SC	42
Florianópolis-SC	65

Fonte: PINTO, 2005; SARDA, 2003; XAVIER, 2001.

Conscientes dos números apresentados anteriormente é indispensável a busca de alternativas a fim de minimizar o acúmulo desses resíduos e os impactos gerados pela sua disposição. Uma crescente alternativa especificamente relacionada aos resíduos da construção e demolição é a reciclagem como agregados em usinas de beneficiamento.

A resolução 307 do CONAMA (2002) conceitua agregado reciclado como o material granular proveniente do beneficiamento de resíduos de construção que apresentem características técnicas para a aplicação em obras de edificação, de infra-estrutura, em aterros sanitários ou outras obras de engenharia.

No Brasil, uma gama importante de pesquisas foi desenvolvida visando a utilização de agregados reciclados de resíduos da construção e demolição (RCD) em concreto (ZORDAN, 1997; BAZZUCO, 1999; LIMA, 1999; LEITE, 2001; LEVY, 2001). Outros estudos realizados avaliaram o comportamento dos agregados reciclados em argamassas, com pesquisadores como Bavaresco (2001), Miranda (2000), Lima (1999). Ainda no escopo nacional, pesquisas procuraram diagnosticar a quantidade de RCD gerada no município com a finalidade de identificar a parcela mineral que pode ser empregada no processamento em unidades de beneficiamento de resíduos (PINTO, 1999; XAVIER, 2001; SARDA, 2003). Embora os estudos realizados demonstrem viabilidade do uso do agregado reciclado dos resíduos da construção e demolição na produção de concretos e argamassas, tem-se verificado a necessidade de controle da qualidade do agregado produzido nas usinas de beneficiamento.

Tal controle permite um maior aproveitamento da fração mineral dos agregados reciclados disponibilizando-a para a produção de materiais e aplicações onde se utiliza agregado natural. Neste aspecto, a busca e difusão de tecnologias de controle de qualidade de agregados reciclados tem participação fundamental para a promoção da demolição seletiva e a reciclagem dos RCD.

Em vários países existem plantas de beneficiamento, fixas e móveis, para o processamento de RCD e produção de agregados reciclados. A tendência dos estudos internacionais é de estabelecer o controle de qualidade não somente com enfoque nas características físicas dos agregados, mas também considerando a qualidade ambiental dos produtos obtidos.

Muitos trabalhos têm enfoque no impacto que os resíduos podem provocar ao ambiente principalmente, através da lixiviação de metais que possam prejudicar a qualidade do solo e da água (HARTLÉN, 1996; TOWNSEND *et al.*, 2004; SANI *et al.*, 2005; MARION *et al.*, 2005). Especificamente, Townsend *et al.* (2004), avaliaram metais pesados em 13 centrais de reciclagem de resíduos da construção e demolição na Flórida. Os autores recomendam que materiais provenientes de resíduos devem ser primeiramente caracterizados a fim de examinar o risco potencial à saúde humana e ao ambiente.

Diante deste contexto, a pesquisa tem como enfoque a avaliação de metais presentes em agregados reciclados, produzidos pelo beneficiamento de resíduos da construção e demolição, tratando-se de um estudo de caso realizado em duas centrais de reciclagem. Busca-se nesta pesquisa priorizar a avaliação de metais que possam estar presentes nos agregados provenientes do beneficiamento dos RCD, comprometendo a reserva futura da fração mineral.

A justificativa para a condução do estudo deve-se à tendência para a utilização dos RCD como agregados reciclados após processamento e beneficiamento em central de reciclagem. Tendência crescente, pois a indústria da construção é grande consumidora de agregados naturais e também pela existência de normas técnicas que oferecem suporte para a utilização desses agregados reciclados em pavimentação e concreto sem função estrutural, a NBR 15115 e NBR 15116.

O processo de beneficiamento de resíduos de construção e demolição é basicamente constituído de unidade de classificação e britagem. No Brasil existem atualmente quatro unidades produtoras de agregados reciclados, obtidos através do beneficiamento do RCD, licenciadas para operação no estado de São Paulo (Campinas e São Bernardo do Campo) e em Minas Gerais (Belo Horizonte e Estoril).

Tais unidades têm contribuído com a solução dos impactos urbanos e redução de custos gerados pela inadequada disposição dos resíduos. Embora seja uma solução tecnológica e ambiental a reciclagem não soluciona a problemática global acerca dos resíduos (ÂNGULO e JONH, 2004).

Em geral, os resíduos da construção e demolição são heterogêneos e consistem em sua maior parte em materiais de construção, mas também inclui uma pequena quantidade de substâncias perigosas (TRANKLER e DOHMANN, 1996). Townsend *et al.* (2004) comentam que os RCD são em sua maior parte inertes, porém, em estudo realizado na Flórida com agregados reciclados, foram encontrados altos níveis de metais pesados que podem afetar a qualidade do produto reciclado e provocar danos ambientais como a contaminação de lençol freático e solo através da lixiviação.

Van der sloot *et al.* (1996) salientam que é importante compreender o comportamento de lixiviação dos contaminantes dos resíduos para uma avaliação apropriada da utilização dos materiais na construção, tratamento e reciclagem adequados, eliminação dos resíduos, e eventual remediação de solos contaminados.

O presente trabalho procurou contribuir neste sentido, identificando os metais pesados presentes nos agregados reciclados provenientes do beneficiamento de resíduos da construção e demolição avaliando o potencial risco de contaminação ao ambiente bem como a influência desses metais em materiais cimentícios.

1.1 Objetivos

Esta pesquisa tem por objetivo avaliar os metais pesados presentes nos agregados provenientes da reciclagem dos resíduos da construção e demolição e também o potencial de lixiviação desses em matrizes de cimento Portland. Os objetivos específicos foram:

- Determinar a concentração total de metais existentes nos agregados reciclados;
- Identificar metais pesados presentes em solução lixiviada e solubilizada obtida a partir dos agregados reciclados nas diferentes frações granulométricas;
- Analisar a concentração de metais que ultrapassa os limites estabelecidos na NBR 10004 – Classificação de Resíduos Sólidos (2004);
- Avaliar os metais pesados eventualmente presentes em matriz sólida de cimento Portland;
- Investigar a cinética de liberação dos metais pesados da matriz cimentícia;
- Verificar a difusão dos metais pesados em matriz cimentícia.

O relatório apresentado encontra-se organizado em cinco capítulos, sendo este o Capítulo 1 de introdução.

No Capítulo 2, são apresentados os aspectos gerais relacionados aos metais pesados, a presença destes nos agregados reciclados dos resíduos de construção e demolição e sua influência nas matrizes cimentícias. São apresentadas ainda as

características físicas dos agregados de RCD reciclados e procedimentos usados para a avaliação da lixiviação dos metais pesados.

O Capítulo 3 aborda a descrição dos procedimentos metodológicos e os materiais utilizados durante a pesquisa.

No Capítulo 4 são apresentadas as características físicas dos agregados reciclados oriundos de duas centrais de beneficiamento de RCD, investigando-se os contaminantes lixiviados e solubilizados do material granular e posteriormente a lixiviação dos metais pesados nas matrizes cimentícias onde foram incorporados os agregados reciclados.

As conclusões da pesquisa foram sintetizadas no Capítulo 5.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Metais pesados

Por definição, metais pesados são elementos químicos que apresentam número atômico superior a 22. Existe também outra definição relacionada à saúde pública, onde metais pesados são aqueles que apresentam efeitos adversos à saúde humana.

A industrialização mundial tem contribuído para o aumento da quantidade de metais pesados presentes no planeta. Atualmente, os metais pesados são abundantes no ar, solo e água devido ao uso freqüente destes compostos em uma variedade de produtos. Estão presentes em materiais de construção, pesticidas, cosméticos, indústria alimentícia, entre outros.

Embora os organismos vivos necessitem de alguns metais como, por exemplo, zinco, magnésio, cobalto e ferro, em pequenas quantidades, estes se tornam tóxicos e perigosos para a saúde humana quando ultrapassam determinadas concentrações. Metais como o chumbo, mercúrio, cádmio, cromo e arsênio não existem naturalmente nos organismos, sendo assim, mesmo em baixas concentrações podem prejudicar a saúde humana e o meio ambiente (www.greenpeace.org.br).

A Tabela 2 são apresentados alguns problemas de saúde causados por exposição a metais pesados. Cabe ressaltar que as patologias mencionadas dependem de uma determinada concentração do metal pesado para que possam se manifestar.

Tabela 2 - Metais pesados e alguns efeitos

METAL	EFEITO
Chumbo	Prejudicial ao cérebro e ao sistema nervoso em geral. Afeta o sangue, rins, sistema digestivo e reprodutor. Eleva a pressão arterial. Promove mutação genética.
Cádmio	Agente cancerígeno. Pode causar danos ao sistema reprodutivo. Afeta os rins.
Mercúrio	Intoxicação aguda: efeitos corrosivos na pele e na mucosa, náuseas, vômito, dor abdominal, diarreia com sangue, danos aos rins e morte. Intoxicação crônica: sintomas neurológicos, tremores, vertigens, irritabilidade e depressão, estomatite e diarreia.; descoordenação motora progressiva, perda de visão e audição e deterioração mental.
Cromo	Dermatites, úlceras cutâneas, inflamação nasal, câncer de pulmão e perfuração do septo nasal.
Zinco	Paladar adocicado e secura na garganta, tosse, fraqueza, dor generalizada, arrepios, febre, náusea, vômito.
Arsênio	Sistema respiratório: danos nas mucosas nasais, laringe e brônquios. Pode ocorrer perfuração do septo nasal e rouquidão. A longo prazo insuficiência pulmonar, traqueobronquite e tosse crônica. Sistema cardiovascular: lesões vasculares periféricas e alterações no eletrocardiograma. Sistema nervoso: alterações sensoriais e polineuropatias.
Manganês	Problemas no trato respiratório. Os sintomas podem ser divididos em três estágios: 1º: astenia, distúrbios do sono, dores musculares, excitabilidade mental e movimentos desajeitados; 2º: transtorno da marcha, dificuldade na fala, reflexos

exagerados, tremor e 3º: psicose maníaco-depressiva e síndrome que lembra o Parkinsonismo. Maior incidência de bronquite aguda, asma brônquica e pneumonia.

Fonte: www.greenpeace.org.br

Os metais pesados quando incorporados em materiais cimentícios podem afetar algumas propriedades. Minocha *et al.* (2003) comentam que os metais normalmente provocam efeitos deletérios na resistência e durabilidade de sistemas aglomerantes e estes efeitos são maximizados com o aumento de sua concentração.

Concentrações elevadas de Cromo (Cr), Níquel (Ni) e Zinco (Zn) no clínquer de cimento podem causar mudanças nas propriedades de hidratação. O **Cr** acelera a hidratação e também o tempo de pega, o **Ni** não afeta a hidratação, porém retarda ligeiramente o tempo de pega (STEPHAN *et al.*; 1999). Através do metal cromo (Cr) pode também ocorrer a substituição do **Al** por **Cr(III)** ou então do **SO₄⁻²** por **CrO₄⁻²** na fase etringita (TREZZA e FERRAIUELO, 2002). Cimentos com adição calcária incorporam parcialmente o cromo através da formação da etringita de cromo - *chromium-ettringite* (TREZZA e FERRAIUELO, 2002).

O **Zn** promove um retardo na hidratação do cimento e no tempo de pega (STEPHAN *et al.*, 1999). Na forma de óxido prejudica a resistência da fase aluminato de cálcio de hidratado, retarda fortemente o tempo de pega e a resistência à compressão decresce nas primeiras idades (MURAT e SORRENTINO, 1996; OLMO *et al.*, 2001).

O silicato de cálcio hidratado (**C-S-H**) absorve o metal chumbo (**Pb**) ou então, este pode precipitar como silicato de chumbo (HALIM *et al.*, 2003).

O cádmio (**Cd**) forma um precipitado na superfície do **C-S-H** e dentro dos poros da matriz de cimento, afetando o mecanismo de lixiviação (HALIM *et al.*, 2003). Quando se apresenta na forma de hidróxido - **Cd(OH)₂** - pode ser encapsulados na matriz de **C-S-H** ou nos cristais de **Ca(OH)₂** (CARTLEDGE *et al.* apud HALIM *et al.*, 2003).

Em alguns estudos observou-se a formação de arsenato de cálcio, em resíduos possuindo arsênio (**As**), solidificados com cimento Portland e cinza leve (SINGH e PANT; 2005). A formação desse composto selou os poros do material reduzindo a solubilidade do arsênio. Pode também ocorrer a formação de produtos insolúveis como o **Ca₃(AsO₄)₂** na superfície das partículas de cimento hidratadas (MOLLAH *et al.* apud HALIM *et al.*, 2003).

2.2 Metais pesados e os agregados reciclados

No Brasil até a publicação da resolução 307 do CONAMA existia uma generalização de que os resíduos de construção e demolição eram classificados como resíduos inertes. De fato, as pesquisas conduzidas com agregados reciclados de RCD não tiveram por escopo a avaliação ambiental da lixiviação e solubilização com finalidade de classificação segundo a NBR 10004. Esta norma tem como enfoque a classificação de resíduos em perigosos ou não perigosos, para isto, fornece limites para componentes inorgânicos, dentre eles os metais pesados, que possam lixiviar ou solubilizar dos resíduos.

A NBR 10004 (2004) considera como resíduos inertes, classificados atualmente como II B, aqueles que em contato com água deionizada não apresentem concentrações em extrato solubilizado superiores aos limites definidos no anexo G da mesma norma.

Townsend *et al.* (2004) comentam que os RCD são em sua maior parte inertes, porém em estudo realizado na Flórida por esses pesquisadores com fins reciclados provenientes de RCD foram encontrados altos níveis de metais pesados. Esses metais podem afetar a qualidade do produto reciclado e provocar danos ambientais.

Conforme Townsend *et al.* (2004) os produtos provenientes do processamento dos resíduos da construção e demolição podem ser contaminados com metais pesados de três modos: (1) através do solo onde as pilhas de resíduos ficam dispostas; (2) por pequenos pedaços de materiais perigosos presentes nos resíduos da construção e (3) da lixiviação de materiais perigosos misturados com os resíduos.

O solo no local da construção ou demolição pode ter sido anteriormente ocupado por residências, comércio ou indústrias contaminando com metais pesados. As fontes de contaminação do solo pode ser através de derramamentos e manipulação de produtos químicos, despejo líquido, aplicação de pesticidas ou poluição atmosférica em locais industriais.

Metais pesados podem também ser provenientes de pequenos pedaços de materiais pintados com tinta à base de chumbo. Altas concentrações de chumbo podem ocorrer em solos adjacentes a superfícies pintadas com esse tipo de tinta. Fragmentos de madeira tratada com CCA (arsenato de cobre cromatado) podem contribuir para o aumento dos teores de arsênio nos produtos provenientes da reciclagem de RCD (TOWNSEND *et al.*, 2004).

Luminárias fluorescentes contém mercúrio, seus resíduos são facilmente moídos e misturados aos resíduos da construção e demolição, quando ocorre a reciclagem esses continuam presentes nos produtos da reciclagem, ou seja, no agregado reciclado. Quando o resíduo sólido é disposto sobre o solo, a percolação da água da chuva através do resíduo gera um líquido denominado lixiviado, existindo componentes perigosos nos resíduos. O lixiviado pode infiltrar no solo e alcançar os lençóis freáticos podendo contaminá-los (TOWNSEND *et al.*, 2004).

Uma das formas de se evitar a contaminação dos resíduos da construção e demolição com componentes perigosos é a partir da desconstrução. A desconstrução é uma prática que varia da demolição, pois materiais são separados para a reciclagem no próprio local em que a demolição está ocorrendo.

A Agência de Proteção Ambiental da Califórnia em 2001 publicou um manual de treinamento da desconstrução. O documento fornece procedimentos para a desconstrução incentivando a venda dos materiais recuperados. Salienta que a desconstrução tem vantagens econômicas, ambientais e sociais. Um manual onde são dadas orientações de identificação e remoção de materiais perigosos da indústria da construção e demolição foi elaborado pelo *Department of Environmental Engineering Sciences* da Flórida (2004). Neste manual, tem-se a informação geral sobre cada material perigoso e os procedimentos para a sua retirada antes de iniciar a demolição ou manutenção de edificações, visando a não contaminação dos resíduos que são encaminhados para a reciclagem.

Os materiais perigosos citados pelo manual são lâmpadas contendo mercúrio (fluorescentes, lâmpadas de alta intensidade), baterias utilizadas na sinalização de emergência, coberturas contendo asbesto, madeiras de portas, janelas, escadas e paredes tratadas com CCA, materiais de revestimento térmico e acústico, iluminação de segurança usada nos portões de garagem, entre outros.

A remoção de componentes perigosos dos resíduos da construção e demolição antes de processar os materiais é vantajosa. Primeiramente, muito da separação de materiais é executada pelo trabalho manual na central de reciclagem ou nos centros de triagem, a remoção de componentes perigosos reduz riscos do trabalhador. Em segundo, a pureza do produto criado pela reciclagem é afetada pela presença de elementos químicos perigosos (*Department of Environmental Engineering Sciences*, 2004).

Logo, a chave do sucesso da reciclagem é manter o grau de contaminação do material ao mínimo possível. A pureza do produto recuperado assegura um valor de mercado mais elevado e a remoção de componentes perigosos dos resíduos da construção é um primeiro passo para isso. Zordan (1997) comenta que quanto mais limpo o resíduo chegar na central de beneficiamento maior será o seu valor. Como os resíduos da construção e demolição são heterogêneos e provavelmente seja inviável separar seus elementos constituintes seu valor é depreciado. Ainda salienta que havendo um controle do resíduo que chega nas centrais de reciclagem os produtos podem atingir características satisfatórias para o uso em concreto.

2.3 Características dos agregados reciclados de RCD obtidos em processo de beneficiamento

Limbachiya *et al.* (2006) comentam que a indústria da construção tem enfatizado a reciclagem e a promoção de práticas de gerenciamento de resíduos de forma mais sustentável. Muitos setores procuram incentivar o uso de agregado reciclado de resíduos da construção e demolição (RCD) como uma alternativa aos agregados naturais na produção de materiais. Desta forma, muitas pesquisas buscam avaliar as propriedades desses agregados com a finalidade de promover seu uso de forma mais adequada.

Em estudos com agregados provenientes de uma central de beneficiamento, na Itália, Sani *et al.* (2005) avaliaram as características do agregado miúdo, com diâmetro inferior a 5 mm, obtiveram valor de massa específica em 2280 Kg/m^3 e absorção de água em 15,8%, ensaios realizados conforme norma italiana de caracterização de agregados para utilização em concreto - UNI 8520. Dados que se encontram de acordo aos obtidos por Poon e Chan (2005), avaliando agregados reciclados de concreto em Hong Kong. Esses pesquisadores encontraram valores de massa específica entre 2310 e 2093 Kg/m^3 e absorção de água de 10,3%, para os agregados miúdos.

Avaliando agregados graúdos, com granulometria entre 5 e 15 mm, Sani *et al.* obtiveram valor de massa específica em 2350 Kg/m^3 e absorção de água de 7,4%, segundo a UNI 8520. Já, Rahal (2005), no Kuwait, avaliou as propriedades de agregados graúdos produzidos através da reciclagem do concreto em três faixas granulométricas - 9, 12 e 19 mm – obtendo valores inferiores de absorção de água,

sendo 3,47%. Comparado com o valor de absorção de água de agregados naturais, os agregados reciclados mostraram valores maiores, fato este atribuído à presença de pasta de cimento aderida na superfície do agregado reciclado.

Poon *et al.* (2004) avaliaram agregados reciclados provenientes do beneficiamento de concreto em Hong Kong. Dois tipos de agregados foram produzidos: de concretos de resistência normal (NC) e de concreto de alta performance (HPC), este último que apresenta adições com propriedades pozolânicas. O agregado reciclado NC com faixa granulométrica de 10 mm apresentou absorção de água de 8,82% e o HPC 6,67%. Com maior granulometria, 20 mm, esses valores de absorção diminuíram para 7,89 e 6,53% para o agregado NC e HPC, respectivamente. Os valores de massa específica obtidos para os agregados reciclados foram 2330 Kg/m³ (10 mm) e 2370 Kg/m³ (20 mm).

Khatib (2005) avaliou os finos reciclados provenientes da trituração de concreto ou tijolos em partículas menores que 5 mm de diâmetro. O agregado fino proveniente da trituração de tijolo apresentou absorção de 14,75% e massa específica de 2050 kg/m³. O agregado proveniente da reciclagem do concreto apresentou absorção de 6,25% e massa específica de 2340 kg/m³.

Limbachiya *et al.* (2006) em estudo com agregados graúdos reciclados (RCA) determinaram através da fluorescência de raios X (FRX) os seus constituintes majoritários, sendo **SiO₂**, **Al₂O₃**, **Fe₂O₃**, **MgO** e **CaO**, alguns elementos traços como **Pb**, **Zn**, **Ni**, **Co**, **Cr** e **V** também foram detectados. Na Tabela 3 podem ser visualizados os constituintes e o comparativo realizado com o agregado natural (NA). O agregado graúdo natural tem predominância de **SiO₂** em sua composição, já o agregado miúdo é mais rico em **CaO**. O agregado graúdo reciclado (RCA) estudado tem constituição predominante de óxidos de **Al** e **Ca**. O cobalto foi o elemento traço que apresentou maior teor no agregado graúdo reciclado, seguido do chumbo e vanádio, esses dois últimos se comparados com o agregado natural apresentaram concentrações bem superiores.

Tabela 3 - Composição química do agregado reciclado (RCA) e do agregado natural (NA)

	NA Graúdo	NA Miúdo	RCA Graúdo
SiO₂	97,03	88,54	65,37
Al₂O₃	0,34	1,21	5,33
Fe₂O₃	0,10	0,76	2,16
MgO	0,65	0,42	1,91
CaO	0,26	5,33	13,93
Pb	-	6	50
Zn	-	4	31
Ni	-	2	-
Co	418	-	55
Cr	8	5	21
V	5	15	42

Oxidos expressos em wt%, elementos traços em ppm.

Fonte: LIMBACHIYA *et al.* (2006).

Ainda com relação ao estudo realizado por Limbachiya *et al.* (2006), os resultados da difração de raios-X são apresentados na Figura 1. Observa-se a predominância de picos de **SiO₂**, seguidos de menores picos de feldspato e carbonato de cálcio (CaCO₃), sugerindo seu menor conteúdo nos agregados. Ocorre uma clara paridade entre o agregado natural grão e o miúdo, esses quando comparados com o RCA identificou-se uma distinção nos picos de feldspato e **CaCO₃**, os quais os autores atribuem aos resíduos de tijolos/cerâmica presentes e a pasta de cimento aderida na superfície das partículas do agregado reciclado ou ao processo de carbonatação que ocorre durante a vida útil do concreto, respectivamente.

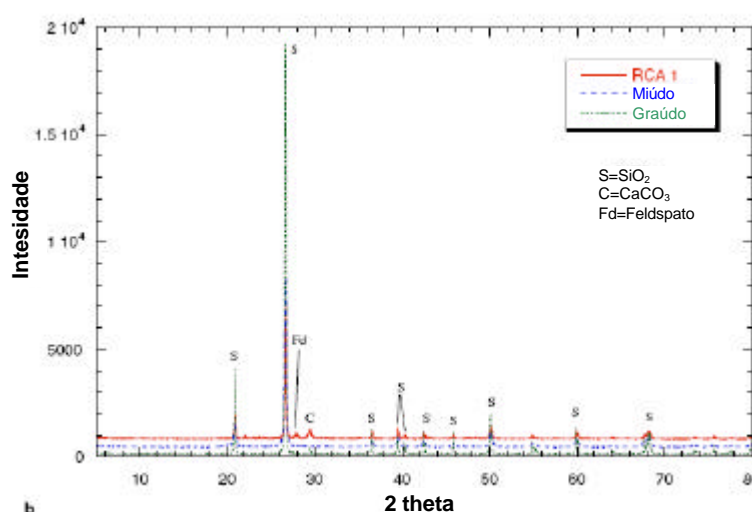


Figura 1 - Difratograma do agregado grão reciclado e do agregado natural (miúdo e grão)
 Fonte: LIMBACHIYA *et al.* (2006)

Bianchini *et al.* (2005) determinaram a composição química através de fluorescência de raios X dos agregados provenientes da reciclagem de RCD, nas seguintes dimensões de grãos: superior a 4 mm; 4 – 2 mm; 2 – 0,6 mm (areia grossa); 0,6 – 0,125 mm (areia média); 0,125 mm – 0,075 mm (areia fina) e fração inferior a 0,075 mm.

Em todas as frações investigadas ocorreu predominância da **SiO₂**, sendo o maior pico na areia média. Em contrapartida, o pico do **CaO** na areia média foi inferior, como observado na Figura 2. Os conteúdos de **Al₂O₃** e **Fe₂O₃** mostram-se aproximadamente constantes, diferindo de forma pouco significativa nas distintas frações analisadas. Quando comparados com areia natural, esses agregados reciclados são mais ricos em **CaO** e pobres em **Al₂O₃-K₂O**.

Os autores comentam que metais como **Ni**, **Co**, **Cr**, **V**, **Zn** e **Pb** (elementos traços) apresentam concentrações maiores nas frações mais finas, pois permanecem presos por minerais de argilosos que são mais abundantes nas frações inferiores a 0,075mm. Esses elementos perigosos não estão associados com fases meta-estáveis, mas dentro de frações argilosas, sugerindo que não sejam facilmente lixiviados (BIANCHINI *et al.*, 2005).

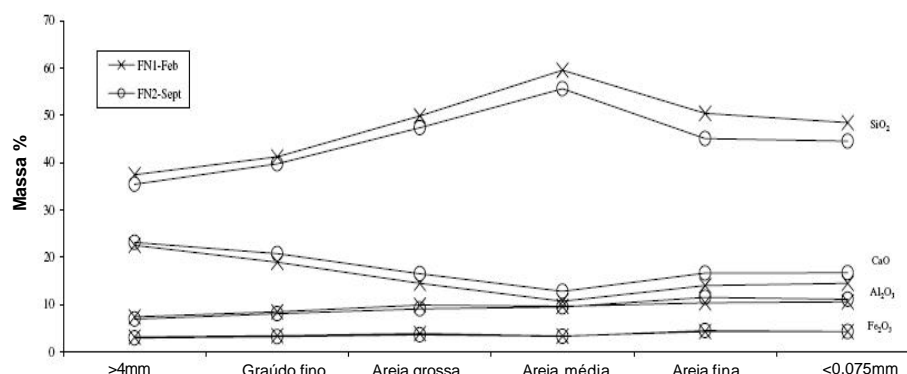


Figura 2 - XRF: Variação da SiO₂, CaO, Al₂O₃ e Fe₂O₃ nas diferentes faixas granulométricas dos RCD reciclados

Fonte: BIANCHINI *et al.* (2005)

Em trabalho desenvolvido por Townsend *et al.* (2004), na Flórida, estudou-se os teores de metais pesados presentes nos finos provenientes da reciclagem de resíduos da construção e demolição. Analisou-se a concentração total (mg/Kg) e lixiviada (mg/L) de 11 metais: alumínio, arsênio, cádmio, cromo, cobre, mercúrio, níquel, chumbo, selênio, prata e zinco.

Através da determinação da concentração total, com espectrômetro de absorção atômica, nove metais (alumínio, arsênio, cádmio, cromo, cobre, mercúrio, níquel, chumbo e zinco) foram detectados em algumas amostras acima do limite admitido em diretiva do departamento de proteção ambiental - *Florida Soil Cleanup Target Levels* (2000). Detectou-se o alumínio (4300 mg/Kg) com o mais alto teor total de todos os metais mensurados, seguido do zinco (3100 mg/Kg) e chumbo (1000 mg/Kg). Os metais com as menores concentrações totais foram arsênio, cádmio e mercúrio. Cádmio foi detectado em 39 amostras das 81 iniciais. A Tabela 4 mostra os resultados obtidos da concentração total de metais.

Tabela 4 - Concentração total de metais nos finos de RCD na Flórida (mg/Kg)

Metal	Nº Detectado/ Nº Analisado	Limite (mg/Kg)	Máximo detectado (mg/Kg)	Mínimo detectado (mg/Kg)
Al	47/47	50	4300	1400
As	96/99	0,3	51	<0,5
Cd	39/81	0,5	5,6	<0,25
Cr	52/52	5,0	98	5,0
Cu	65/65	5,0	420	7,2
Pb	98/99	5,0	1000	<50
Hg	16/16	0,002	2,5	0,023
Ni	65/65	5,0	300	6,8
Zn	81/81	0,5	3100	27

Fonte: TOWNSEND *et al.* (2004).

Na avaliação utilizou-se o ensaio de lixiviação SPLP - *Synthetic Precipitation Leaching Procedure* (EPA 1312) – cujo procedimento envolve a simulação de uma chuva ácida, pH $4,20 \pm 0,05$, na amostra utilizando relação líquido/sólido **20:1**. Foi disposto em recipiente com capacidade de 2 litros, 1000 gramas dos finos reciclados e adicionou-se 2 litros de solução de ácido nítrico e sulfúrico. Essa mistura foi agitada em rotação durante 18 ± 2 horas, após esse período as amostras foram

filtradas e analisadas utilizando o método EPA 3010 – *Test methods for evaluating solid waste* (1996). Os resultados do ensaio de lixiviação foram comparados com os limites máximos estabelecidos para a água subterrânea (TOWNSEND *et al.*, 2004).

No ensaio, vários metais não foram detectados ou apareceram com frequência aleatória. Chumbo, selênio e prata apresentaram concentração lixiviada inferior ao limite admitido. Alumínio, arsênio e zinco foram os únicos metais detectados em mais da metade das amostras destinadas ao ensaio de lixiviação. O mercúrio foi detectado em apenas uma amostra das sete analisadas. A Tabela 5 mostra a concentração de metais encontrados após o ensaio de lixiviação.

O pH da solução de lixiviação contribuiu para a baixa lixiviabilidade do metal pesado. Embora o pH inicial tenha sido de 4,2, após as 18 horas de rotação o valor do pH esteve entre 6,4 e 10,4, deixando os metais menos solúveis. Inúmeros componentes dos finos provenientes dos resíduos da construção e demolição poderiam ter contribuído para a alcalinidade da amostra, os mais notáveis são o cimento não reagido e o pó de cimento.

Tabela 5 – Concentração lixiviada de metais nos finos de RCD na Flórida (mg/l)

Metal	Nº Detectado/ Nº Analisado	Limite detecção	Máximo detectado
Al	38/46	20	180
As	35/46	5,0	39
Cd	3/46	1,0	3,1
Cr	8/18	5,0	50
Cu	4/46	100	130
Hg	1/7	0,13	1,1
Ni	3/46	10	16
Zn	25/46	50	120

Fonte: TOWNSEND *et al.* (2004).

Para os metais arsênio, alumínio e zinco, os autores realizaram comparativo entre a concentração total e lixiviada. O arsênio lixiviou em maior proporção, em média 6,5% quando comparado com a concentração total inicial do metal. O Alumínio lixiviou 0,13% do total da concentração total e o metal zinco 0,8%.

2.4 Propriedades dos materiais cimentícios produzidos com agregado reciclado

Vários autores estudaram as propriedades de elementos cimentícios produzidos com agregado reciclado, dentre as características mais avaliadas pode-se citar a resistência compressão. No Kuwait, em pesquisa conduzida por Rahal (2005), avaliou-se concretos produzidos com agregado gráudo reciclado. Foram utilizados cinco concretos distintos, conforme Tabela 6.

Tabela 6 - Composição do concreto (Kg/m³)

Classe	K200	K250	K300	K400	K500
Cimento	360	380	400	420	460
Água + superplastificante	234	190	192	181	184
Areia Natural	705	705	705	705	705
A/C	0,65	0,50	0,48	0,43	0,40
Graúdo reciclado (9 mm)	500	500	500	500	500
Graúdo reciclado (12 mm)	340	340	340	340	340
Graúdo reciclado (19 mm)	260	260	260	260	260

Fonte: RAHAL (2005).

A Figura 3a mostra os resultados de resistência à compressão, em cubos de concreto de 100 mm de aresta, nas idades de 1, 3, 7, 14, 28 e 56 dias produzidos com agregado graúdo reciclado (RAC). Proporcionando um comparativo, a Figura 3b apresenta os resultados de resistência à compressão em concretos produzidos com agregados naturais (NAC). As setas plotadas nos gráficos da Figura 3 representam o percentual de resistência em relação à resistência obtida aos 28 dias pelo concreto.

Pode-se visualizar que o desenvolvimento da resistência é similar. Nos primeiros 7 dias ocorre maior ganho de resistência nos concretos confeccionados com agregado reciclado e depois desse período isso se inverte, os concretos com agregado natural desenvolvem maior resistência.

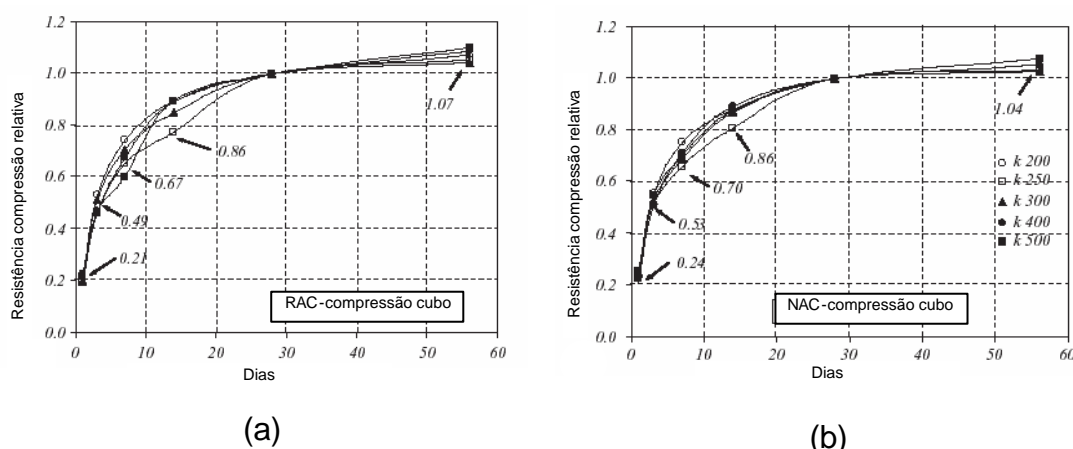


Figura 3 - Desenvolvimento da resistência à compressão ao longo do tempo

Fonte: RAHAL (2005)

Os valores verificados na resistência dos concretos com agregado graúdo reciclado, quando comparados aos cubos de concreto produzidos com agregados naturais, permaneceram em torno de 90%. A resistência à compressão atingida variou em função da relação água/cimento utilizada e do tempo de cura. Em média, a resistência aos 56 dias foi 7% e 4% maior do que aos 28 dias nos concretos RAC e NAC, respectivamente.

Na Figura 4 é apresentado o desenvolvimento da resistência em função da relação água/cimento utilizada. A maior resistência média foi observada quando se utilizou a relação água/cimento 0,40 representando 51,2 MPa e a menor 21,6 MPa, com relação água/cimento 0,65. Como era esperado, os menores valores de resistência à compressão foram observados com idade de um dia sendo 10,1 e 4,3

MPa com água/cimento 0,4 e 0,65 respectivamente. Na Figura 4 pode-se visualizar a relação entre água/cimento e a resistência à compressão dos concretos com agregado reciclado (RAC) e natural (NAC).

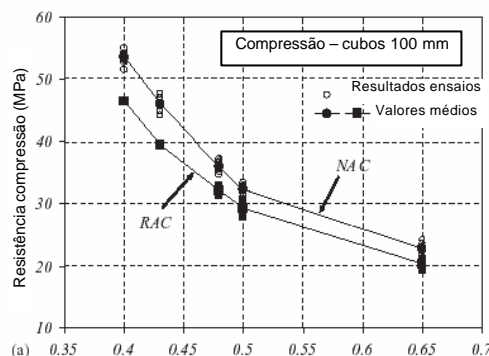


Figura 4 - Relação entre resistência à compressão e relação água/cimento
Fonte: RAHAL (2005)

Khatib (2005) avaliou as propriedades de concreto contendo finos reciclados da demolição de estruturas. Manteve-se constante em 0,5 a relação água/cimento nas nove misturas avaliadas a fim de examinar a influência do agregado fino reciclado nas propriedades do concreto. O agregado fino reciclado no concreto foi substituído em teores de 0%, 25%, 50% e 100% de concreto triturado (CC) e tijolo triturado (CB).

Observou-se que com o aumento do teor de CC ou CB não houve grande variação nas resistências atingidas. Aos 28 dias, um concreto no qual adicionou 100% de CC, apresentou resistência à compressão de 30 N/mm² e com teor de 25%, 35,3 N/mm². Com a adição de CB obtiveram-se resistências maiores, variando de 33,2 a 39,2 N/mm² adicionando 100 e 25% de CB, respectivamente. A Figura 5 apresenta os resultados de resistência à compressão.

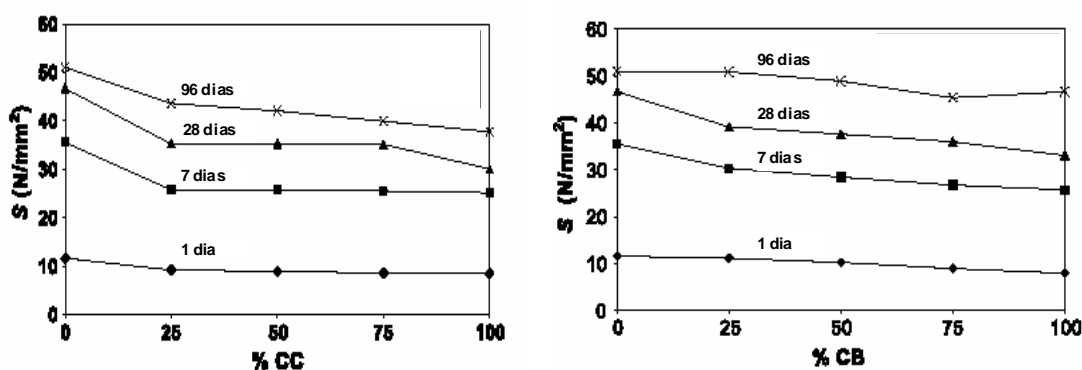


Figura 5 - Efeito do teor de CC e CB na resistência à compressão
Fonte: KHATIB (2005)

Qijun *et al.* (2005) moldaram corpos-de-prova prismáticos (40x40x160mm) de argamassa de cimento Portland com adição de cinza leve. Foram produzidas 6 misturas distintas variando-se o teor de cinza leve em 0, 25 e 40%. As relações água/aglomerante utilizadas foram 0,5 e 0,6 e relação agregado miúdo/aglomerante 1,60 e 2,00. O flow manteve-se dentro de 200 ± 10 mm. A resistência à compressão, obtida aos 28 dias, variou de 12,8 a 51,5 MPa. A maior resistência foi atingida pela menor relação água/aglomerante e em argamassa sem substituição do cimento por

cinza leve. Verificou-se a menor resistência à compressão com a substituição do cimento por 40% de cinza leve e água/aglomerante 0,6.

Na Itália, Sani *et al.* (2005) produziram concretos utilizando agregados reciclados e agregados naturais, todas as misturas com relação água/cimento 0,6. A Tabela 7 apresenta a proporção de materiais dos concretos avaliados.

Tabela 7 - Proporção de materiais para dosagem de concreto (Kg/m³)

Concreto	Agregado Natural	Agregado Reciclado	Ag. Reciclado + Cinza leve
Água	250	250	250
Cimento	390	390	390
Cinza Leve (Fly Ash)	-	-	120
Agregado miúdo	730	310	190
Agregado Graúdo	1100	1240	1240

Fonte: SANI *et al.* (2005).

Os valores de resistência à compressão dos concretos produzidos com agregados reciclados foram relativamente baixos quando comparados ao concreto referência produzido com agregado natural, que apresentou 30 MPa de resistência. O menor valor de resistência à compressão atingido foi no concreto em que se utilizou apenas agregado reciclado, resultando em 18 ± 2 MPa. Quando adicionou-se cinza leve a resistência aumentou para 21 ± 2 MPa. Esses resultados podem ser atribuídos a alta relação água/cimento utilizada, cura ao ar durante 90 dias e abstenção do ajuste do teor de água nas misturas.

A utilização de agregados reciclados em substituição total ao natural reduz a resistência, atenuando-se esse efeito com a adição de cinza leve que refina os poros e incorpora a portlandita - Ca(OH)_2 . Isso foi confirmado pela análise térmica diferencial e também pelos resultados do ensaio de intrusão de mercúrio, conforme Tabela 8 (SANI *et al.*, 2005).

Tabela 8 - Resultados da intrusão de mercúrio

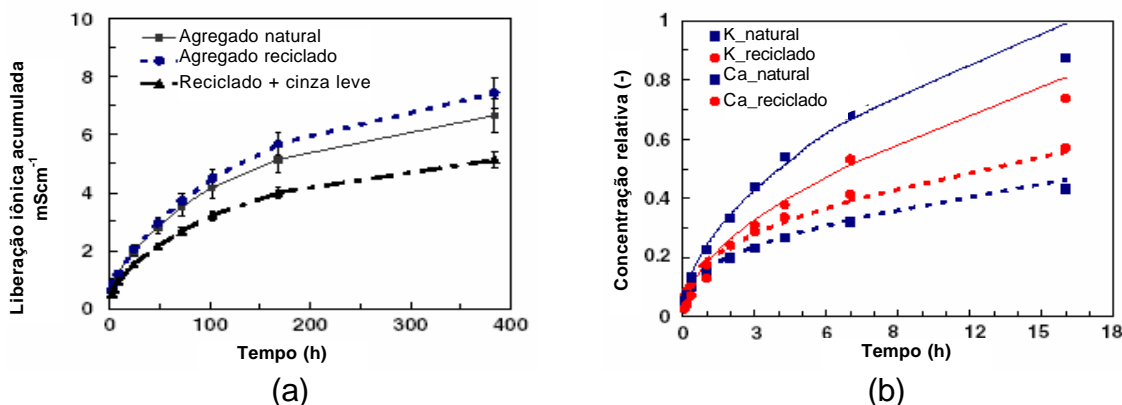
Concreto	Agregado Natural	Agregado Reciclado	Ag. Reciclado + Cinza leve
Porosidade aberta (%)	12	23	19
Macro-poros (%)	8	10	5
Médio-poros (%)	16	19	12
Micro-poros (%)	76	71	83

Fonte: SANI *et al.* (2005).

Ainda os mesmo autores, em estudo com amostras de concreto (100x100x100mm) realizaram ensaio dinâmico de lixiviação na presença de água deionizada renovada nos períodos de 2, 8, 24, 48, 72, 102, 168 e 348 horas, conforme D.M.A., 1998. Executou-se a análise dos álcalis solúveis (**Ca**, **Na**, **K**) e **Cl** com um cromatógrafo iônico, o pH e a condutividade elétrica também foram monitorados.

Através da Figura 6a pode-se perceber que a condutividade manteve-se entre 4 e 8 μScm^{-1} , onde os valores mais altos foram obtidos na presença de agregado

reciclado comparando com concreto produzido com agregado natural. Em relação à lixiviação de íons, quando adicionou-se cinza leve nas misturas com agregado reciclado houve uma diminuição. Altos valores de concentração de íons foram obtidos no verão e menores valores no inverno, indicando a influência das condições de cura.



Fonte: SANI et al. (2005).

Ocorreu grande liberação de cálcio durante o período do ensaio de lixiviação no concreto produzido com agregado natural devido à alta concentração de portlandita, responsável pela solubilidade do **Ca**. Os autores comentam que a lixiviabilidade de íons é influenciada por efeitos físicos e químicos e uma maior reatividade química do agregado reciclado e da cinza leve justifica uma taxa mais baixa de liberação do cálcio, conforme Figura 6b. O pH da solução oscilou entre 10,3 e 11,4, mantendo o meio alcalino durante todo o período de ensaio.

No ano de 1999, Hillier *et al.* investigaram a concentração de metais tóxicos que lixiviaram a partir de concreto produzido com vários tipos de cimento Portland, utilizando duas relações água/cimento 0,45 e 0,6; e relação agregado/cimento 4:1. Corpos-de-prova (aresta de 100 mm) de concreto foram moldados e protegidos até o desmolde em 24 horas. Foram considerados dois tipos de cura: cura ao ar durante 1 dia e cura úmida por período de 28 dias. Executou-se ensaio de lixiviação adaptado da norma canadense NVN 5432 (1991). Alteraram o tempo de ensaio de 64 para 256 dias.

O ensaio de lixiviação foi iniciado após 28 dias da produção do concreto. Cada amostra foi disposta em recipiente, mantido em estado estático, contendo 3 litros de água deionizada. A água deionizada foi renovada em períodos determinados de 1,5, 6, 24 horas e 4, 16, 64 e 256 dias. Utilizou-se espectrômetro de absorção atômica Zeeman (Hitachi Z-8100) para a determinação quantitativa dos metais. Os seguintes elementos foram considerados: arsênio, berílio, cádmio, cromo, mercúrio, níquel, chumbo, antimônio, selênio e vanádio, conforme diretiva 80/778/EEC para água potável.

Desses elementos considerados o único encontrado na solução lixiviada foi o vanádio, detectado somente em concreto com um dia de cura. Observa-se que o fator dominante na mobilidade do vanádio é o grau de hidratação do concreto, pois, nas amostras curadas por 28 dias detectou-se o vanádio em concentrações abaixo de 2 ppb, sendo pouco significativas. A relação água/cimento não teve efeito

significativo no potencial de lixiviação do vanádio. A lixiviação de metais tóxicos é diretamente proporcional ao grau de hidratação das amostras e também se relaciona à menor porosidade que os materiais à base de cimento atingem ao longo do tempo (HILLIER *et al.*, 1999).

Os metais tóxicos presentes na composição do cimento Portland foram: As (19,90 µg/g), Be (1,40 µg/g), Cr (72,7 µg/g), Pb (75,30 µg/g), Ni (72,00 µg/g) e V (44,10 µg/g).

Em outro estudo com metais, Marion *et al.* (2005) investigaram amostras de concreto utilizando cimento Portland e de alto forno, com relação água/cimento 0,45 e consumo de cimento de 400Kg/m³. Quantificaram metais pesados utilizando cubos de concreto (10x10x10 cm) curados durante 56 dias (20 ± 2° C e UR>90%) e imersas em água desmineralizada mantendo-se a relação líquido/sólido igual a 6, conforme recomendações da norma NEN 7345. A imersão do concreto em água desmineralizada foi realizada nos períodos de 6 horas, 1, 7, 14, 36 e 64 dias, efetuando a renovação do lixiviante. Utilizaram espectrômetro ICP-MS com plasma acoplado para a determinação quantitativa dos seguintes metais pesados: **Ni, Cr, Sb, Se, Mn, Hg, As, Pb, Cd e Cu, Ba, Zn e Ag**, conforme Diretiva Européia sobre a qualidade de água potável. As concentrações obtidas foram comparadas aos limites dados pela diretiva européia.

Os autores investigaram os teores dos metais pesados presentes inicialmente no concreto detectando os valores máximo e mínimo em 3 concretos produzidos com cimento Portland e 3 concretos com cimento de alto-forno, conforme Tabela 9. Na Tabela 10 pode-se visualizar os resultados obtidos e o comparativo com a diretiva européia.

Tabela 9 - Concentração de metais pesados presentes no concreto

Metal	Concreto de cimento Portland (mg/Kg)		Concreto de cimento de Alto-forno (mg/Kg)	
	Min	Máx	Min	Máx
As	1,8	12	1,4	1,8
Cd	0,14	0,28	0,08	0,17
Cr	55	64	24	31
Cu	18	30	9,3	12
Hg	4,6	7,3	8,7	9,9
Mn	382	465	341	383
Ni	17	26	9,3	12
Pb	11	27	8,6	12
Sb	1,6	2,1	0,64	1,6
Zn	56	94	30	38
Se	<0,01	4,5	<0,01	<0,01
Ag	0,33	0,74	0,27	0,58
Ba	327	400	366	393

Fonte: MARION *et al.* (2005).

O elemento **Ba** que mostrou-se em maior concentração no concreto anteriormente do ensaio lixiviação (ensaio de tanque), sendo o valor máximo 400 e 393 mg/Kg, após a lixiviação essa concentração passou para 22 e 8,8 mg/Kg. O **Cr** que a diretiva estabelece limite máximo de 50 µg/l, inicialmente, apresentou

concentração de 64 e 31 mg/Kg, após o ensaio de tanque essa concentração permaneceu em 0,71 e 0,29 µg/l.

Tabela 10 - Concentração lixiviada x limite estabelecido na Diretiva (mg/l)

Metal	Concreto de cimento Portland		Concreto de cimento de Alto-forno		Limite Diretiva
	Máx	Mín	Máx	Mín	
Ba	22	6,4	8,8	8,0	-
Ni	0,45	0,19	0,28	0,096	20
Cr	0,71	0,31	0,29	0,13	50
Sb	0,028	0,011	0,068	0,01	5
Se	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	10
Mn	<0,006	<0,006	0,08	<0,006	50
Hg	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	1
As	0,006	<0,002	0,007	<0,002	10
Ag	<0,001	<0,001	0,003	<0,001	-
Zn	0,020	0,014	0,022	0,005	-
Pb	0,027	<0,001	<0,001	<0,001	10
Cd	0,002	<0,001	<0,001	<0,001	5
Cu	0,015	<0,004	<0,004	<0,004	2000

Fonte: MARION *et al.* (2005).

A liberação de metais pesados em contato com a água desmineralizada foi bastante pequena e bem abaixo dos limites estabelecidos pela Diretiva Européia. A presença de escória em substituição ao clínquer, no caso dos concretos produzidos com cimento de alto-forno, não modificou o comportamento de lixiviação do concreto. Os concretos utilizados na pesquisa podem ser considerados como não perigosos ao ambiente em termos de lixiviação de metais pesados (MARION *et al.*, 2005).

Asavapisit *et al.* (2005) determinaram a concentração lixiviada de metais (**Zn**, **Fe**, **Cr**) em pastas de cimento em que se utilizaram diferentes proporções de cinza pulverizada (PFA), oriunda da combustão do carvão, em substituição ao cimento Portland, e adições de 0, 10, 20 e 30% de lodo, a relação água/cimento utilizada foi 0,5.

O ensaio de lixiviação executado foi o TCLP – *Toxicity Characteristic Leaching Procedure* – em amostras curadas durante 28 dias que foram reduzidas em partículas com tamanho inferior a 9,5 mm misturadas em solução ácido acético igual a 20 vezes a massa da amostra. O recipiente de extração contendo a amostra e a solução de ácido acético foi rotacionado em 30 rpm durante 18 horas. De todas as pastas avaliadas, o metal que apresentou as maiores concentrações na solução lixiviada foi o **Zn**, variando entre 0,28 e 2,88 mg/L. Enquanto o ferro variou entre 0,07 e 1,61 mg/L e o cromo 0,24 e 0,79 mg/L.

A solução de ácido acético que possuía pH de 2,88 depois do contato com o cimento teve seu pH alterado para 13, devido principalmente à dissolução do **Ca(OH)₂**. Quando o cimento Portland foi substituído pela cinza pulverizada, o pH reduziu de 13 para 12,7, isso pelo consumo do hidróxido de cálcio, responsável pela alcalinidade, pela reação pozolânica da cinza.

Qijun *et al.* (2005) estudaram corpos-de-prova prismáticos (40x40x160mm) de argamassa de cimento Portland com adição de cinza leve. Produziram-se 6 misturas distintas variando-se o teor de cinza leve em 0, 25 e 40%, segundo Tabela 11. Na Tabela 12 pode-se visualizar a concentração de metais pesados nos materiais utilizados nas argamassas. Depois de desmoldados, os corpos-de-prova foram curados ao ar ($22 \pm 2^\circ$) mantidos em umidade relativa > 90%, foram consideradas as idades de 28, 91, 180 e 360 dias.

Tabela 11 - Proporcionamento de materiais e propriedades das argamassas

	A	B	C	D	E	F
Água/cimento + cinza leve	0,5	0,6	0,5	0,6	0,5	0,6
Areia/cimento+cinza leve	1,6	2	1,6	2	1,6	2
Cinza leve (%)	0	0	25	25	40	40
Flow (mm)	193	200	201	207	203	210

Fonte: QIJUN *et al.* (2005)

Tabela 12 – Teor de metais pesados nos materiais utilizados (mg/Kg)

Metal	Cd	Pb	Cr	Mn	Cu	Zn	As	Se
Cimento Portland	0,6	240	80	150	51	60	15	1,5
Cinza leve (%)	0,10	50	90	150	51	60	15	1,5

Fonte: QIJUN *et al.* (2005)

As amostras utilizadas no ensaio de lixiviação, com idade de 28 dias, foram dispostas em tanque preenchido com água pura, a relação líquido/sólido utilizada foi igual a 3. A água pura foi renovada a cada 3 dias durante os primeiros 21 dias, a cada 7 dias nos 14 dias seguintes e posteriormente a esse período, a cada 14 dias. Depois de completados 100 dias a água foi renovada a cada 28 dias.

O pH de cada extrato obtido da lixiviação variou na faixa de 10 e 12, em função do intervalo de tempo de renovação da solução de lixiviação (água pura). O extrato obtido no ensaio de tanque foi filtrado usando membrana de 0,45 μm e depois de mensurado o pH fez-se a acidificação da amostra com ácido nítrico conduzindo o pH na faixa de 0,9 – 1,1. Os metais pesados **Cr**, **Mn**, **Cu**, **Zn**, **Cd** e **Pb** foram analisados por espectrometria de absorção atômica (ICP-AES). A Figura 7 apresenta a concentração total dos metais pesados lixiviados no período de 132 dias. As letras A e B representam as amostras sem adição de cinza. Os teores de 25% de cinza são representados pelas letras C e D, já aqueles com 40% pelas letras E e F.

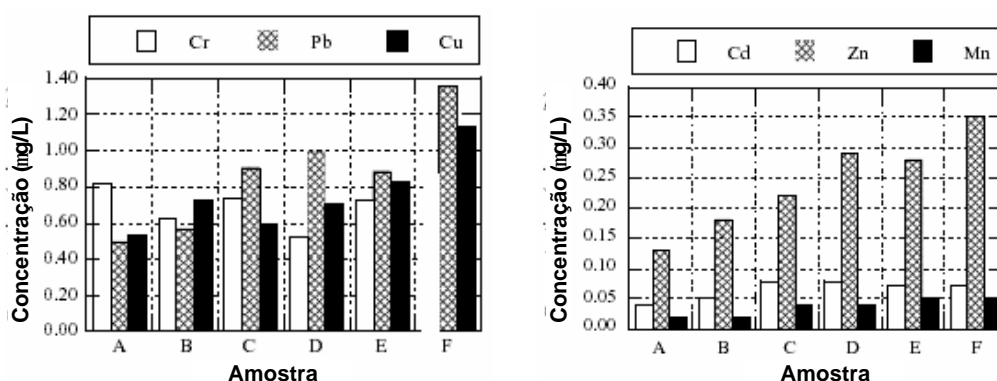


Figura 7 - Concentração lixiviada de metais pesados das argamassas
QIJUN *et al.* (2005)

A quantidade de **Mn**, **Zn** e **Cd** lixiviado das amostras imersas em água foi baixo. Em muitos casos o equipamento utilizado não conseguiu detectá-los. Na Figura 7, observa-se que a lixiviação de metais pesados aumenta com a substituição do cimento Portland por cinza leve e com o aumento da relação água/aglomerante (a/c), sendo que as letras E e F representam argamassas com 40% de cinza e distintas relações água/aglomerante.

As maiores concentrações de metal foram as de chumbo (Pb) sendo o máximo valor encontrado aproximadamente 1,40 µg/l em argamassa com 40% de cinza leve e o valor mínimo 0,45 µg/l em argamassa sem adição de cinza. O **Mn** foi o metal que apresentou mais baixa concentração, sendo que o maior valor atingido foi 0,05 µg/l. Os resultados indicam que a lixiviação de metais pesados somente ocorreu nas camadas superficiais das amostras de argamassa. Para a liberação dos metais nas camadas internas da amostra para o ambiente, é necessário mais tempo devido ao processo de difusão, este que controla a lixiviação de metais em amostras monolíticas, que é lento. Os diferentes metais demonstraram solubilidades diferentes, em altos valores de pH reduz-se a lixiviabilidade dos metais da parte interna dos corpos-de-prova de argamassa (QIJUN *et al.*, 2005).

2.5 Procedimentos de lixiviação

Segundo a NBR 10005 (2004), lixiviação é o processo para a determinação da capacidade de liberação de substâncias orgânicas e inorgânicas através da dissolução em meio extrator. Van der sloot (1998) comenta que a lixiviação fornece subsídios para o gerenciamento de resíduos gerados em grande escala em processo industrial e também sobre a decisão de disposição desses materiais.

Townsend *et al.* (2003) enumeram os seguintes objetivos do ensaio de lixiviação:

- a) avaliar o risco potencial de contaminação de lençol de água subterrâneo e através do contato humano;
- b) classificar resíduos em perigosos ou não;
- c) avaliar o potencial de lixiviação de poluentes provenientes de resíduos sob determinadas condições ambientais;
- d) fornecer um extrato representativo do lixiviado produzido por um resíduo em campo e;
- e) identificar o apropriado gerenciamento de resíduos.

Vários fatores afetam a liberação de poluentes através da lixiviação. Um fator dominante é o estado do material, o qual define o fenômeno que governa a lixiviação. Materiais granulares lixiviam contaminantes pela percolação de água, já no caso de materiais monolíticos a lixiviação é controlada pela difusão (HARTLÉN, 1996). Fatores físicos como tamanho da partícula, tempo de contato, relação líquido/sólido (L/S), porosidade, sortividade, temperatura e parâmetros biológicos tais como pH, potencial de oxidação-redução, complexação, conteúdo de carbono orgânico, alcalinidade, entre outros (VAN DER SLOOT, 1998; TOWNSEND *et al.*, 2003).

O pH afeta a liberação de contaminantes, pois determina a solubilidade de contaminantes em diferentes materiais. Alguns metais possuem a tendência de lixiviar mais em valores extremos de pH. Outro fator determinante é o tamanho da partícula, esta que determina a área específica para a solução de lixiviação. Muitos ensaios de lixiviação necessitam da redução de partículas, uma grande área específica é exposta na solução para lixiviar, resultando em maiores chances do contaminante presente no material ser liberado. Ou seja, quanto menor o tamanho da partícula maior a área específica e maior o contato com a solução.

A relação líquido/sólido (L/S), definida como a quantidade de solução de extração que permanece em contato com o material residual a ser analisado, influencia nos valores de concentrações obtidos no líquido. Concentrações são maiores em menor relação L/S e decrescem com o aumento da relação L/S devido à maior diluição do material (TOWNSEND *et al.*, 2003). Em amostras monolíticas os resultados são expressos em função da área de contato com o lixiviante, em mg/m².

A oxidação e redução podem ser significantes na lixiviação de contaminantes em materiais residuais. Townsend *et al.* (2003) citam como exemplo o cromo, este que existe na natureza em duas formas, Cr⁺³ e Cr⁺⁶. O cromo trivalente possui menor solubilidade em água e menor mobilidade, enquanto o cromo hexavalente é mais móvel e tóxico no ambiente. Sob condições de oxidação, o Cr⁺³ é convertido em Cr⁺⁶ resultando em um metal mais tóxico. Em ambientes biologicamente ativos, aterros sanitários, por exemplo, podem ser criadas condições de redução resultando em metais imobilizados dentro dos resíduos.

Nas últimas décadas vários países têm desenvolvido protocolos de ensaio de lixiviação. Em trabalhos científicos, os ensaios utilizados apresentam uma grande variação quanto aos procedimentos com a finalidade de simular as diferentes condições dos distintos materiais estudados. A abordagem dos procedimentos de lixiviação difere, principalmente, quanto à dimensão das amostras. Ora os ensaios são realizados em amostras de dimensões reduzidas (fragmentos), ora a abordagem refere-se a ensaios destinados a avaliação de amostras monolíticas, sem fragmentação prévia.

No Brasil, a NBR 10005 (2004) é o protocolo de lixiviação existente, visando a classificação de resíduos em inertes e não inertes, perigosos ou não. Os protocolos americanos de lixiviação, denominados *batch leaching tests*, são enumerados por TOWNSEND *et al.* (2003):

- 1) EP – Procedimento de Extração¹ (EPA, 2001);
- 2) TCLP – Procedimento de Lixiviação e Característica de Toxidade² (EPA, 2001);
- 3) SPLP – Procedimento de Lixiviação por Precipitação Sintética³ (EPA, 2001);
- 4) WET – Teste de Extração⁴ (California Code of Regulations, 1985);
- 5) Extração de Materiais da ASTM⁵ (ASTM D 3987-85, 2001).

¹ EP - Extraction Procedure Toxicity

² TCLP - Toxicity Characteristic Leaching Procedure

³ SPLP - Synthetic Precipitation Leaching Procedure

⁴ WET - Waste Extraction Test

⁵ American Society for Testing and Materials extraction test

Esses protocolos envolvem a redução das partículas, preparação de solução de extração e agitação da mistura. São chamados de ensaios de curta duração, pois necessitam de período reduzido de tempo de ensaio, dias ou horas. A principal diferença entre eles é o tipo de solução de extração utilizada, a relação líquido/sólido e o tempo de duração do ensaio.

O protocolo recomendado pela norma holandesa NEN 7343, teste de coluna (lisímetro) ou teste de percolação tem como objetivo determinar a lixiviação de componentes inorgânicos presentes em materiais granulares. Este ensaio envolve a colocação do material residual em uma coluna e posterior adição continuada da solução de extração para a produção do extrato lixiviado, a Figura 8 mostra esquematicamente o ensaio. Na Tabela 13 apresenta-se um comparativo entre o ensaio de extração e o teste de coluna.

Tabela 13 - Comparação entre os ensaios de lixiviação

Parâmetro	Extração	Ensaio de Coluna
Período de ensaio	Horas a dias	Dias a meses
Operação	Fácil	Difícil
Custo	Relativamente baixo	Alto
Relação líquido/sólido	Alta – com a finalidade de estimar a máxima quantidade de poluentes a serem lixiviados	Baixa

Fonte: TOWNSEND *et al.*, 2003.



Figura 8 - Desenho esquemático do ensaio de coluna

Fonte: Adaptado de TOWNSEND *et al.*, 2003.

Em materiais monolíticos utiliza-se o ensaio de tanque – *tank test* – que tem como finalidade avaliar o potencial de lixiviação, ao longo do tempo, de matrizes em que resíduos são incorporados. Utiliza-se água desmineralizada como solução de extração, mantendo-se a relação líquido/sólido igual a 5, efetuando-se sua renovação após períodos de 0,25; 1; 2,25; 4; 9; 16; 36 e 64 dias, conforme recomendações da norma holandesa NEN 7345. Os resultados obtidos nesse ensaio são expressos em mg/m^2 .

A vantagem do uso do ensaio de tanque reside no fato de se poder avaliar a cinética de liberação dos metais pesados em meio líquido. No decorrer do período do ensaio de lixiviação realizado na amostra monolítica ocorre migração dos metais.

Os diferentes mecanismos que descrevem o movimento da água são: migração da água líquida sob ação da tensão superficial, difusão sob o efeito de gradiente de umidade segundo a lei de Fick, difusão de água adsorvida sobre as superfícies internas dos poros vazios; difusão de vapor sob o efeito de gradiente de pressão parcial de vapor de água; escoamento de água sob o efeito de uma diferença de pressão total entre o interior e o exterior de produtos e a migração de água líquida ou vapor sob o efeito de gradiente de temperatura.

A complexidade dos fenômenos de migração conduz os pesquisadores a proposição de numerosas teorias e múltiplas fórmulas empíricas para a teoria difusional que é apoiada exclusivamente sobre a Lei de Fick. No caso dos metais pesados avaliados no ensaio de tanque a difusão Fickniana, ocorre através do movimento aleatório de moléculas ou íons individuais, sendo comandada pela diferença no potencial químico entre o sólido e o lixiviante (EIGHMY *et al.*, 1997). Como o lixiviante é constantemente renovado durante o ensaio de lixiviação, a difusão pode ser simplificada e assumida como zero a concentração na interface sólido-líquido (MALVIYA e CHAUDHRARY, 2006). O coeficiente de difusão pode então ser obtido pela seguinte equação:

$$De = \frac{p.Bt^2}{4t(U_{\max}.d)^2}$$

onde:

B_t = liberação do elemento no tempo (mg/m^2)

U_{\max} = é a máxima concentração lixiviada do elemento monolítico (mg/Kg)

d = densidade do material monolítico (Kg/m^3)

t = tempo de imersão do material monolítico na água (s)

O coeficiente de difusão (De) é uma difusividade efetiva que engloba os efeitos de todos os fenômenos que podem intervir sobre a migração de poluentes na água, e seu valor é sempre obtido pelo ajuste de valores experimentais, a principal razão de seu emprego. Como a difusividade varia conforme mudam as condições do material, ela não é intrínseca ao mesmo e se convencionou pela denominação de difusividade efetiva.

Os elementos tais como **Na**, **K** e **Cl** são usados para verificar a mobilidade e o mecanismo que governa a lixiviação. A norma NEN 7345 estabelece que esses elementos não apresentam interação química com a matriz cimentícia e se movem livremente. Se a lixiviação desses elementos, que são inertes, é governada pela difusividade, então assume-se que a lixiviação é por difusão para os demais constituintes. Segundo MALVIYA e CHAUDHRARY (2006) para a avaliação do mecanismo que governa a lixiviação dos contaminantes se faz a verificação do coeficiente angular obtido pela regressão linear entre a função logarítmica do constituinte inerte *versus* o logaritmo do tempo. Se o coeficiente angular for superior a 0,65 o mecanismo é de dissolução; nos valores inferiores a 0,35 o mecanismo é por lavagem superficial. Já, o mecanismo de lixiviação se dá por difusão para valores situados entre os dois valores anteriores ($0,35 < \text{difusão} < 0,65$).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Programa experimental

O programa experimental consistiu nas seguintes etapas:

- 1) detecção prévia de metais, através de FRX portátil, nas pilhas de agregados reciclados de RCD em duas centrais de beneficiamento, denominadas SBC e URM;
- 2) amostragem dos agregados reciclados de RCD;
- 3) fracionamento das amostras de agregado reciclado em 7 faixas granulométricas: 2,4; 1,2; 0,6; 0,3; 0,15; 0,075 mm e inferior a 0,075 mm;
- 4) identificação da composição química nas frações dos agregados reciclados por espectrometria de fluorescência de raios-X por energia dispersiva;
- 5) lixiviação das frações dos agregados reciclados;
- 6) solubilização das frações dos agregados reciclados;
- 7) identificação dos constituintes presentes em extrato lixiviado e solubilizado através da espectrometria de fluorescência de raios-X por energia dispersiva;
- 8) confecção das argamassas utilizando os agregados reciclados de RCD;
- 9) execução do ensaio de lixiviação nas amostras monolíticas;
- 10) análise térmica nas amostras monolíticas e;
- 11) análise da composição mineralógica por difração de raios-X.

As atividades que englobam o programa experimental foram desenvolvidas no laboratório de Materiais de Construção (LMCC) e no Grupo ValoRes (Grupo de Pesquisa sobre a Valorização de Resíduos na Construção Civil). A Figura 9 mostra a seqüência do programa experimental de forma esquematizada.

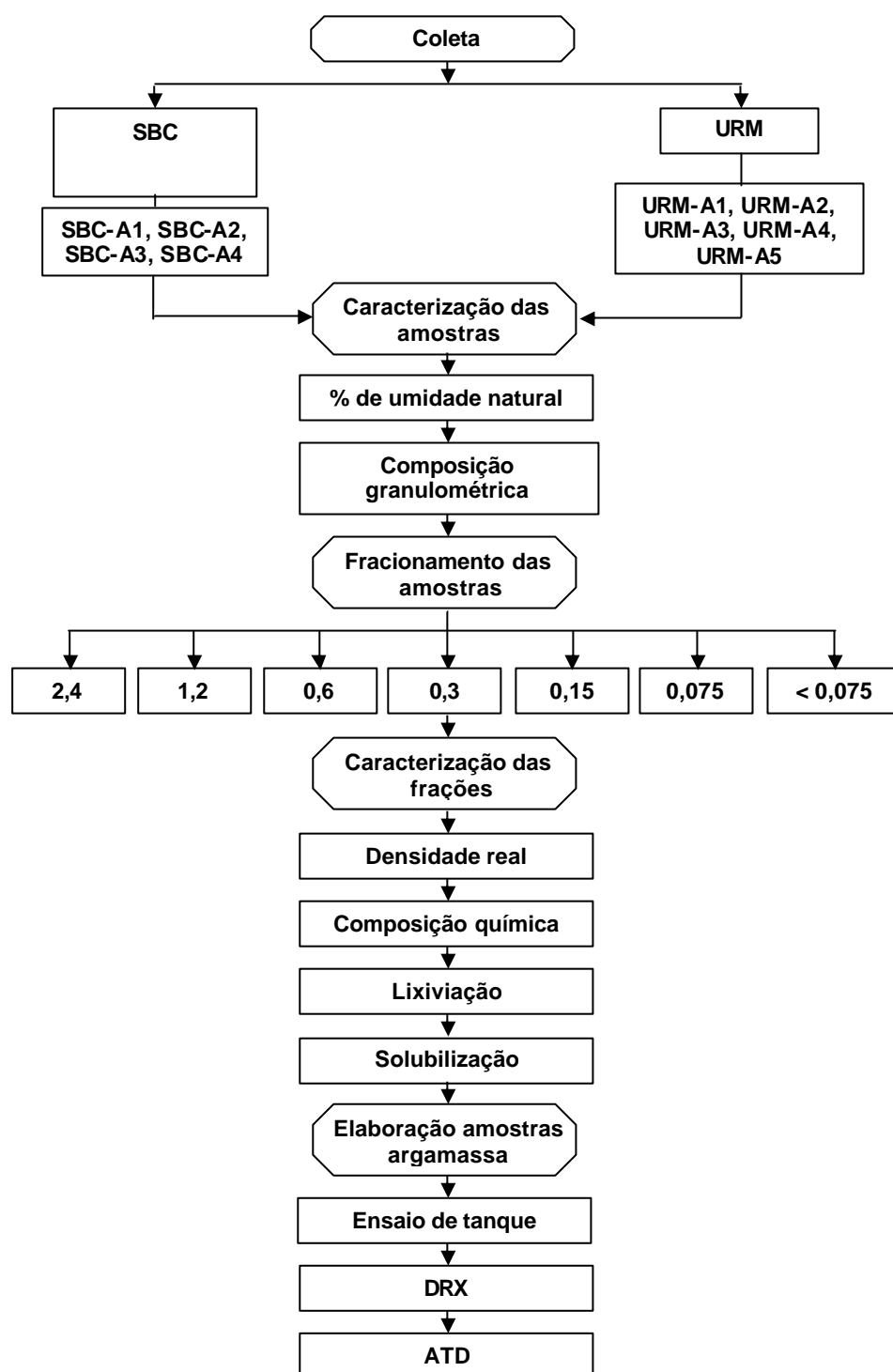


Figura 9 – Esquema geral do programa experimental

Na Tabela 14 encontram-se apresentados os ensaios que foram juntamente com as normas e procedimentos adotados.

Tabela 14 - Síntese dos ensaios e procedimentos a serem realizados

Ensaio	Norma/Observação	Procedimento
Granulometria	NBR NM 248/2003 – Determinação da composição granulométrica	-----
Densidade	-----	Picnômetro de gás hélio
Composição química e identificação dos metais pesados presentes nas frações do agregado de RCD	Identificação realizada em amostras reduzidas para a dimensão < 150 mm prensadas e analisadas a vácuo	Utilização de Espectrômetro de Fluorescência de Raios-X por Energia Dispersiva. EDX 700HS marca Shimadzu.
Identificação das fases mineralógicas	Procedimento empregando 600mg de amostra reduzida para a dimensão <150 mm	Análise térmica diferencial (ATD)
Identificação dos produtos da reação com o cimento	Procedimento empregando 600mg de amostra reduzida para a dimensão <150 mm. Padrão inerte alumina.	Técnica de análise por Difração de Raios-X. O aparelho utilizado será o Rigaku DRX.
Lixiviação	NBR 10005/2004 - Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos	Extrator SPLP
Solubilização	NBR 10006/2004 - Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos	-----
Lixiviação em amostras de argamassa	NEN 7345 - <i>Tank test</i>	Ensaio de tanque. Argamassa curada por 3, 7 e 28 dias.

3.2 Materiais utilizados

Os materiais utilizados foram: agregados miúdos reciclados, provenientes do processamento de RCD de duas centrais de beneficiamento. Para a avaliação da lixiviação dos agregados reciclados quando inseridos em argamassa utilizou-se cimento Portland CPI-S-32. Nas amostras referência utilizou-se areia normal IPT. Aquelas frações não disponibilizadas pelo IPT foram substituídas por areia normal natural. Utilizou-se uma farinha de sílica na fração <0,15 mm.

A Tabela 15 mostra os teores (% em massa) dos óxidos obtidos pela análise química realizada no cimento e os resultados dos ensaios de caracterização fornecidos pelo fabricante. Na Tabela 16 apresentam-se os resultados dos metais presentes no cimento. Análise executada no laboratório ValoRes através da espectrometria de fluorescência de raios-X por energia dispersiva.

Tabela 15 - Composição química (% em massa) do cimento CP I – S

Ensaio químicos	
Elementos	(%)
SiO ₂	18,398
Al ₂ O ₃	4,513
Fe ₂ O ₃	3,045
Na ₂ O	0,07
K ₂ O	0,918
CaO	61,507
TiO ₂	---
SO ₃	3,098
ZrO ₂	---
V ₂ O ₅	---
MnO	---
ZnO	---
Y ₂ O ₃	---
SrO	---
MgO	6,254
CaO livre	
Perda ao fogo	3,458
Ensaio físicos	
Blaine (cm ² /g)	3685
Início de pega (h:min)	02:56
Fim de pega (h:min)	03:56
Massa específica (g/cm ³)	3,12
Módulo de finura	---
Diâmetro máximo (mm)	---

Tabela 16 – Metais presentes no cimento (n=3)

Metais pesados*	%	DP
MnO	0,045	0,006
Cr ₂ O ₃	0,027	0,009
ZnO	0,021	0,002
NiO	0,013	0,004
CdO	0,012	0,002
CuO	0,011	0,002
Ag ₂ O	0,008	0,003
Sb ₂ O ₃	0,005	0,003
As ₂ O ₃	0,003	0,002

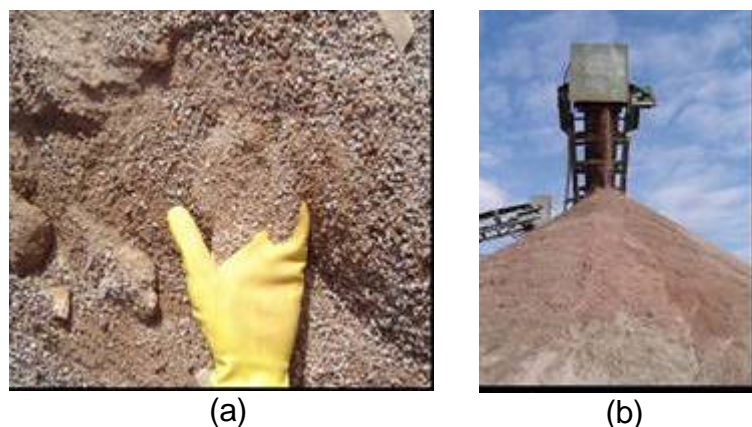


Figura 11 – Areia produzida pela usina SBC
a) Granulometria b) Vista geral da pilha

No município de Campinas-SP, central denominada URM, foram coletadas 14 amostras, a Figura 12 apresenta um croqui da planta da unidade recicladora de materiais. Areia (Figura 13), pedrisco, brita 1, brita 2, brita 3, brita corrida fundo e brita corrida são os materiais produzidos pela unidade recicladora de materiais.

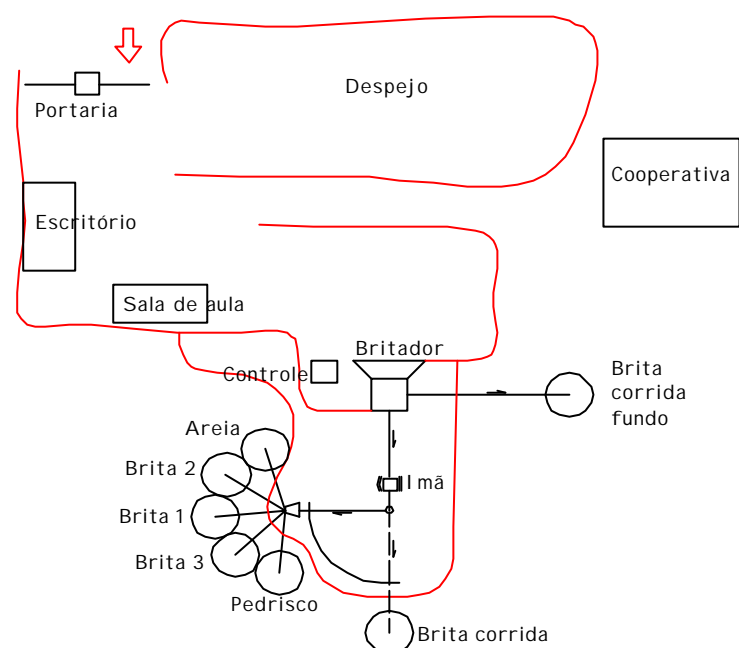


Figura 12 - Planta URM

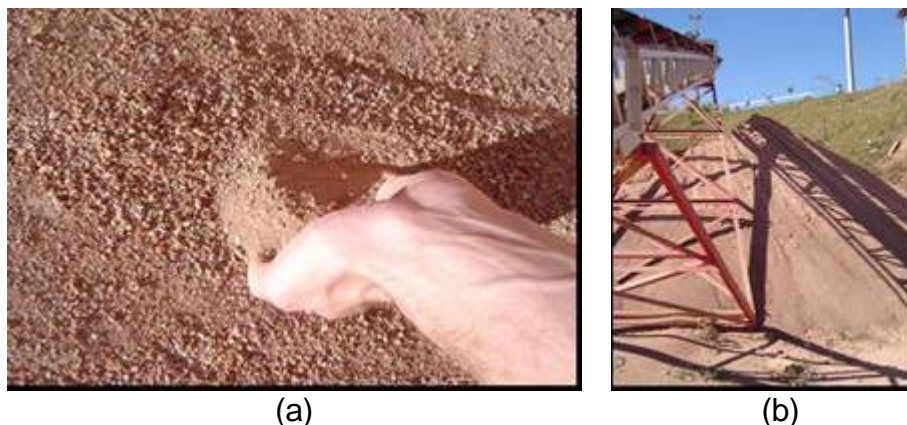


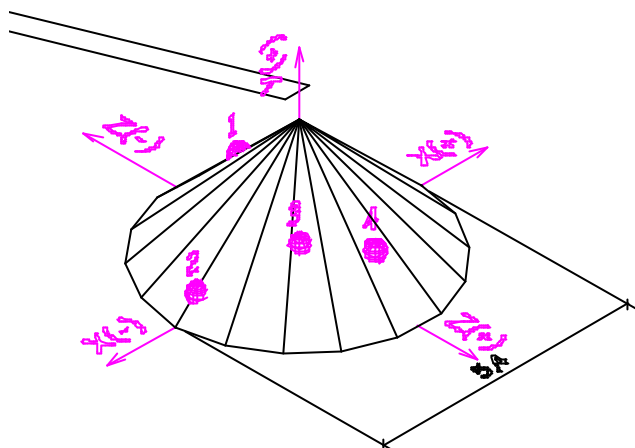
Figura 13 -Areia produzida pela URM
a)Granulometria b)Vista Geral da Pilha

Do total de amostras, o material utilizado na pesquisa refere-se à fração miúda. Na Tabela 17 pode-se verificar o código de identificação utilizado para cada central de beneficiamento e a quantidade de amostras coletadas. As amostras foram identificadas por letra seguida de número, este que representa a posição da pilha em que a areia foi coletada.

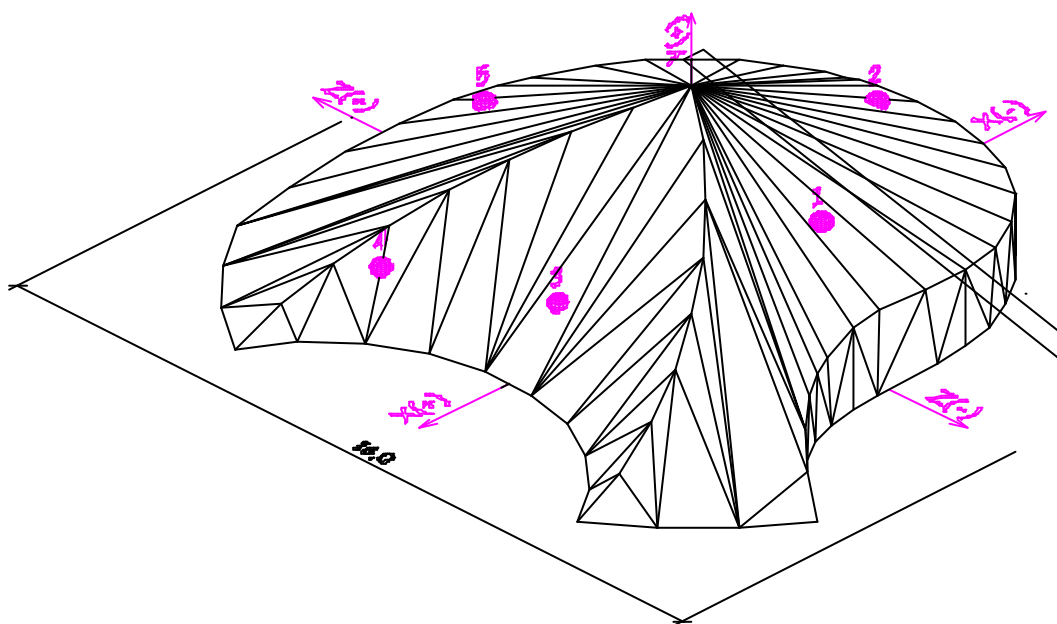
Tabela 17 - Amostras da fração miúda coletadas

Abertura Peneiras	Central beneficiadora	n° amostras	Identificação
F < 4,8mm	SBC	4	SBC-A1, SBC-A2, SBC-A3, SBC-A4
F ≥ 4,8mm	URM	5	URM-A1, URM-A2, URM-A3, URM-A4, URM-A5

Na amostragem procurou-se sistematizar pontos de coleta em três coordenadas espaciais a partir de três planos ortogonais entre si, conforme esquema da Figura 14. É importante ressaltar que o material foi coletado logo após o processamento dos RCD evitando resultados errôneos através da exposição das pilhas ao tempo na planta da central de beneficiamento.



Amostra	Sistema de coordenadas		
	X(m)	Y(m)	Z(m)
SBC_A1	0,0	1,3	-1,35
SBC_A2	-2,3	0,3	0,0
SBC_A3	-0,9	1,2	-0,9
SBC_A4	0,0	0,9	1,7



Amostra	Sistema de coordenadas		
	X(m)	Y(m)	Z(m)
URM_A1	0,0	3,1	3,0
URM_A2	-4,4	2,2	0,0
URM_A3	3,1	1,3	0,0
URM_A4	4,2	1,0	3,1
URM_A5	0,0	2,0	5,0

Figura 14 – Pontos de coleta do agregado miúdo reciclado

Nas pilhas inseridas nas centrais de beneficiamento de agregados reciclados de RCD utilizou-se o espectrômetro portátil Innov-X, para análise dos metais presentes. Este equipamento fornece resultados a cada 3 segundos analisando vinte elementos químicos: **Ti, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, As, Se, Rb, Sr, Zr, Mo, Ag, Cd, Sn, Sb, Ba, Hg e Pb.**

O uso do espectrômetro portátil teve por finalidade proceder a escolha das pilhas com presença de metais pesados. Fez-se um teste onde a amostras somente foram coletadas nas pilhas com detecção prévia de metais pesados, conforme Figura 15.

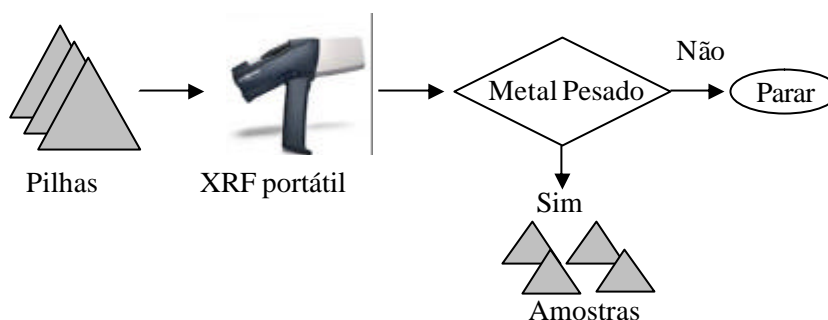


Figura 15 - Detecção prévia de metais

3.2.1.2 Identificação dos metais pesados por FRX portátil

A identificação dos metais através do FRX portátil foi executada nas diferentes pilhas produzidas nas duas centrais de beneficiamento (Tabela 18 e 19, Figura 16). Verifica-se semelhança entre os elementos presentes nas amostras SBC e URM. Os elementos **Ti, Mn, Fe, Zn, Pb, Rb e Zr** foram comuns nas duas centrais, variando sua concentração de um ponto de coleta de material para outro. **Ti e Fe** mostraram maior concentração, sendo esta bastante superior aos demais elementos. Metais perigosos como **Cr, Pb, As, Ag e Cd** foram detectados em alguns pontos distintos nas pilhas, apresentando concentrações significativas.

O **Ca** foi detectado no espectro gerado pelo equipamento utilizado *in loco*, porém não foi quantificado, pois não consta na lista de elementos que o equipamento portátil quantifica. Na Figura 16 pode-se visualizar o pico acentuado do **Ca** nas amostras coletadas nas duas centrais, isto ocorre, pois os agregados reciclados de RCD são ricos em concretos e argamassas.

Tabela 18 - Concentração dos elementos obtidos na análise química por FRX portátil das amostras SBC (mg/Kg)

Elementos	SBC-A1		SBC-A2		SBC-A3		SBC-A4	
	mg/Kg	DP	mg/Kg	DP	mg/Kg	DP	mg/Kg	DP
Ti	1881	403,2	1684	382,2	2506	409,2	1493	368,8
Mn	252	59,4	416	61,9	346	60,5	317	56,6
Fe	19808	302,1	15057	255	17641	282,9	19086	277,6
Zn	189	12,7	59	8,62	81	9,4	65	8,2
Pb	113	8,3	22	5,5	24	5,5	35	5,6
Rb	69	3,4	80	3,7	82	3,7	89	3,6
Sr	251	6,2	328	7,4	262	6,5	339	7,0
Zr	205	5,6	147	5,2	187	5,5	147	4,8
Cr	354	81	-	-	-	-	-	-
Cu	-	-	-	-	31	9,5	-	-
As	-	-	-	-	-	-	21	4,1
Ag	-	-	-	-	-	-	83	21,4

DP significa desvio-padrão

Tabela 19 – Concentração dos elementos obtidos na análise química por FRX portátil das amostras URM (mg/Kg)

Elementos	URM-A1		URM-A2		URM-A3		URM-A4		URM-A5	
	mg/Kg	DP	mg/Kg	DP	mg/Kg	DP	mg/Kg	DP	mg/Kg	DP
Ti	3048	415,4	3677	415,3	4247	425,2	7584	548	5732	485,5
Mn	262	54	194	52,6	226	52,3	-	-	199	52,6
Fe	18848	273,3	22889	307,1	20479	283,5	24344	332,2	17258	260,6
Zn	45	7,2	59	7,8	49	7,4	96	9,4	238	13,2
Pb	23	5	34	5,4	25	5,0	-	-	-	-
Rb	33	2,5	40	2,6	49	2,8	60	3,1	37	2,6
Sr	151	4,5	119	4,0	157	4,5	149	4,6	214	5,4
Zr	186	4,9	263	5,6	194	4,9	286	6,0	257	5,8
Ag	75	21,2	89	20,8	120	21	105	21,7	71	21,5
Cu	-	-	35	8,8	-	-	31	9,21	29	9,0
Ni	-	-	-	-	59	18,9	73	21	-	-
Sn	-	-	-	-	-	-	152	26,2	151	26,6
Cd	-	-	-	-	-	-	47	14,1	-	-

DP significa desvio-padrão

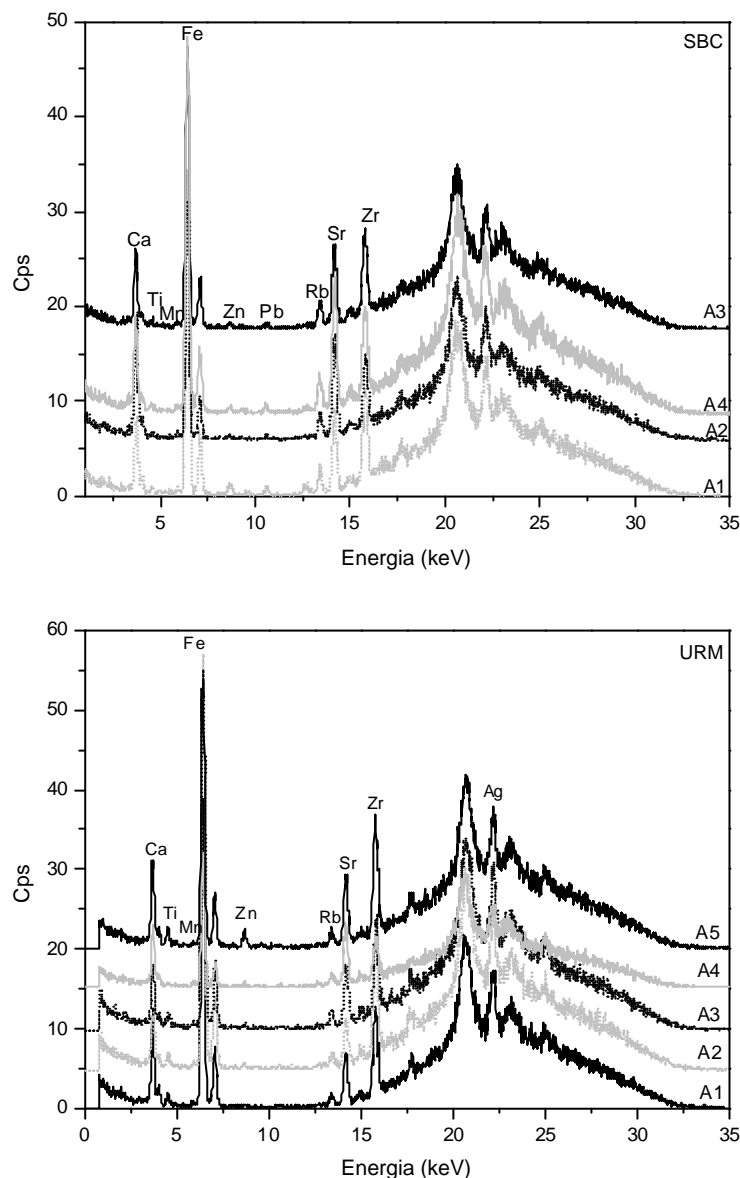


Figura 16 - Espectrograma das amostras SBC e URM nos diferentes pontos de coleta

3.2.1.3 Distribuição granulométrica dos agregados reciclados

Para a análise da composição granulométrica do agregado reciclado utilizou-se a série normal e intermediária de peneiras incluindo-se a malha 0,075mm. Ou seja, foram utilizadas as peneiras com abertura de malha de: 9,50; 6,30; 4,80; 2,40; 1,20; 0,60; 0,30; 0,15; 0,075 mm. Nas Figuras 17 e 18 são mostradas as curvas granulométricas obtidas a partir das quatro amostras de agregados reciclados de RCD da usina SBC e cinco amostras da URM. As amostras de agregados reciclados coletados nas duas centrais de beneficiamento apresentam distribuição granulométrica semelhantes, encontrando-se mais próximos da zona superior ótima conforme NBR NM 248/2005. Conforme NBR 7211/83 é classificada como areia média.

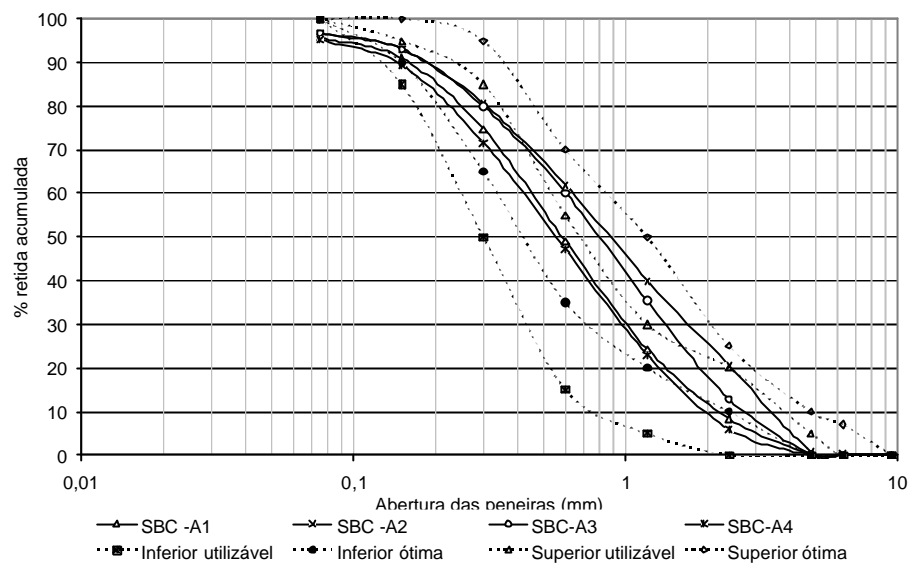


Figura 17 - Distribuição granulométrica do agregado miúdo reciclado SBC

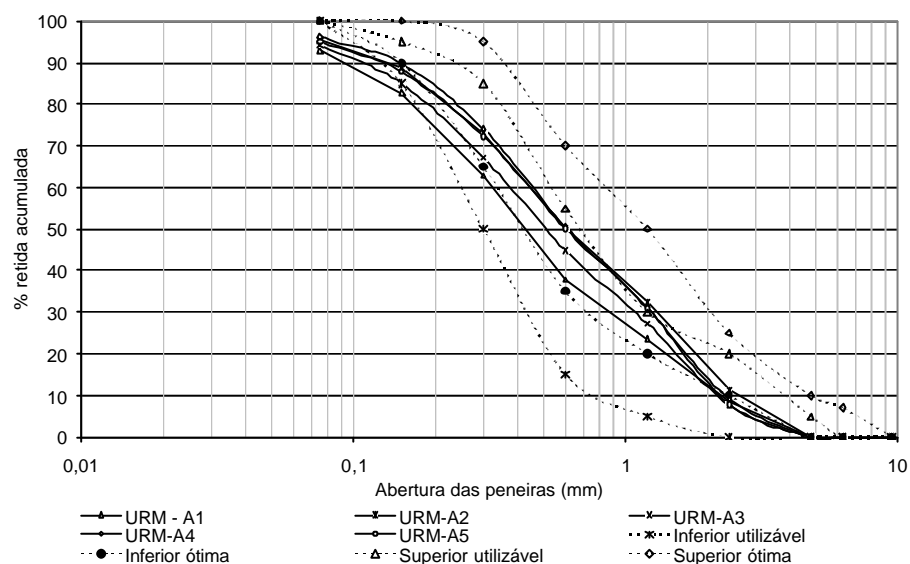


Figura 18 - Distribuição granulométrica do agregado miúdo reciclado URM

As características dos agregados reciclados amostrados em cada ponto de coleta são apresentadas na Tabela 20.

Tabela 20 – Características dos agregados reciclados

Amostras	SBC		URM	
	MF	% umidade	MF	% umidade
A1	2,48	18	2,15	6
A2	2,97	14	2,56	4
A3	2,82	14	2,32	11
A4	2,37	14	2,55	5
A5	-	-	2,49	6
D _{máx}	4,8		4,8	
D _{min}	<0,15		<0,15	

MF: Módulo de Finura; D_{máx}= Diâmetro Máximo Característico (mm);
D_{min}= Diâmetro Mínimo Característico (mm)

3.3 Métodos

3.3.1 Densidade

No ensaio de determinação da densidade (g/cm³) nas faixas granulométricas dos agregados reciclados utilizou-se o picnômetro de gás hélio. Utiliza-se hélio porque este gás possui átomos pequenos facilitando sua penetração em poros acessíveis da amostra, permitindo assim, a determinação do volume do sólido com mais rigor.

O equipamento utilizado é da marca Quantachrome, modelo Multipicnômetro MVP-4DC, apresentado na Figura 19. O equipamento determina a densidade baseado no seguinte princípio:

$$\text{A pressão ambiente: } Pa(Vc - Vp) = naRTa \quad (1)$$

Onde n_a é o número de moles de gás ocupando o volume da célula (V_c) incluindo o volume de pó (V_p), R é a constante dos gases e T_a é a temperatura ambiente. Quando o volume de referência é pressurizado até aproximadamente 17 pounds/pol² acima da pressão ambiente, o estado do volume de referência pode ser expresso por:

$$P1.Vr = n1RTa \quad (2)$$

Quando a válvula seletora é conectada à célula, a pressão irá cair a um valor mais baixo de pressão dado por: $P2(Vc - Vp - Vr) = na.R.Ta + n1.R.Ta \quad (3)$

$$\text{Substituindo (1) e (2) em (3): } P2(Vc - Vp + Vr) = Pa(Vc - Vp) + P1$$

$$\text{Para } P_a = 0: Vc + Vp = (P1 - P2) \frac{Vr}{P2} \quad (4)$$

$$\text{Então: } Vp = Vc - Vr \left(\frac{P1}{P2} - 1 \right) \quad (5)$$

Onde: V_r = volume de referência

V_p = volume da amostra

V_c = volume da célula

P_1 = valor da pressão (em psi) determinado após fechamento da célula, esta pressurizada até aproximadamente 17 pounds/po²;

P_2 = valor da pressão estabilizado após a abertura da célula;



Figura 19 - Picnômetro de hélio, marca Quantachrome

3.3.2 Energia de dispersão de raios-X (EDX)

Para identificação dos elementos presentes nos agregados reciclados de RCD em seu estado natural e dos constituintes encontrados após lixiviação e solubilização utilizou-se o espectrômetro de fluorescência de raios-X, EDX 700HS da marca Shimadzu. O EDX determina os elementos presentes na amostra através da aplicação de raios-X em sua superfície e posterior análise dos fluorescentes raios-X emitidos.

A fluorescência de raios-X (FRX) utiliza sinais de raios-X para excitar a amostra. Os elementos individuais presentes na amostra emitem seus raios-X característicos, fluorescentes. O EDX detecta estes raios-X e, quantitativamente, determina quais elementos estão presentes no material.

As amostras sólidas, após secas em estufa, foram reduzidas em dimensão passante na malha de 150 μm , utilizando um almofariz, posteriormente foram presadas ($m = 2\text{g}$) com 4 toneladas. Utilizou-se vácuo para a realização das leituras.

Nas amostras líquidas utilizou-se recipiente de polipropileno e filme myllar de alta pureza para a contenção da amostras. Nessas amostras, não utilizou-se vácuo por tratar-se de amostra líquida. Foram utilizadas alíquotas de 4 ml para a análise das amostras líquidas.

3.3.3 Difração de raios-X (DRX)

Para a análise qualitativa dos compostos presentes nas matrizes cimentícias produzidas utilizou-se a técnica de difração de raios-X. Neste ensaio, um feixe de raios-X atinge um material cristalino, esses raios são difratados pelos planos dos átomos que formam o cristal.

As amostras foram reduzidas para dimensão $<150\ \mu\text{m}$. A varredura foi executada na faixa de 2θ , sendo 10 a 100° e passo de $0,05^\circ$.

3.3.4 Lixiviação

A determinação dos metais lixiviados dos agregados reciclados de RCD foi realizada conforme recomendações da NBR 10005 (2004) – Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos. As sete frações granulométricas – 2,4; 1,2; 0,6; 0,3; 0,15; 0,075 e inferior a 0,075 mm – obtidas de cada ponto de coleta nas pilhas de agregado miúdo reciclado foram analisadas pelo processo de lixiviação.

O primeiro procedimento do ensaio de lixiviação é a identificação da solução de extração a ser empregada. Para isto, pesa-se 5g da amostra e adiciona-se 96,5 mL de água deionizada, essa mistura é agitada por 5 minutos, em seguida mede-se o pH.

Atingindo pH menor ou igual a 5,0 utiliza-se a solução de extração nº 1, em que coloca-se 5,7 mL de ácido acético glacial em água deionizada e adiciona-se então 64,3 mL de NaOH na concentração de 1,0 N. Completa-se o volume para 1 L, sendo que o pH desta solução deve ser $4,93 \pm 0,05$. Se o valor do pH mostrar um valor maior que 5,0 deve-se adicionar 3,5 mL de uma solução de HCl na concentração de 1,0 N, homogeneizar e aquecer durante 10 minutos à temperatura de $50\ ^\circ\text{C}$. Na seqüência, mede-se novamente o pH e então verifica-se qual das soluções de extração será utilizada, se o pH for superior a 5 prepara-se a solução de extração nº 2, que possui a seguinte formulação: em água deionizada, adiciona-se 5,7 mL de ácido acético glacial e completa-se o volume para 1 L. O pH desta solução deve ser $2,88 \pm 0,05$.

Resumidamente, o procedimento para a determinação da solução de extração encontra-se esquematizado na Figura 20.

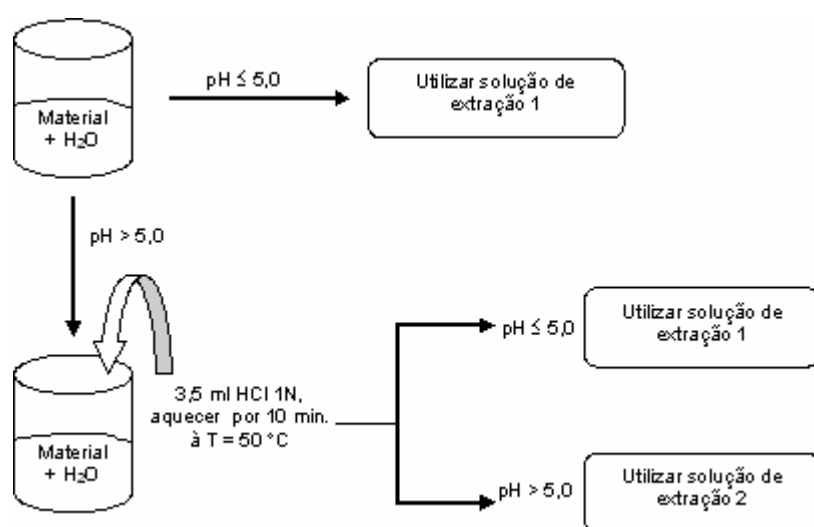


Figura 20 - Procedimentos para determinação da solução de extração

Finalizada a etapa de determinação da solução de extração inicia-se o processo de lixiviação pesando-se 25g de agregado reciclado de RCD a ser analisado, é importante salientar que as partículas devem ter tamanho inferior a 9,5mm, conforme estabelecido pela NBR 10005 (2004). Coloca-se a amostra no frasco extrator e adiciona-se 500ml da solução de extração definida, mantendo-se a relação líquido/sólido **20:1**.

Depois de fechado o frasco extrator de lixiviação, inicia-se a agitação durante 18 ± 2 h à temperatura de até 25°C com rotação de 30 ± 2 rpm em agitador rotativo. O agitador rotativo a ser utilizado no ensaio de lixiviação é da marca TECNAL modelo TE 744/2, dotado de extrator sem espaço livre, ZHE -Zero-head space extraction vessel/- conforme Figura 21.



Figura 21 – Equipamento utilizado no ensaio de lixiviação

Encerrado o período de agitação, a amostra é filtrada com o auxílio de uma bomba à vácuo. Para a filtração, utiliza-se papel filtro analítico Whatman 40 de $8\ \mu\text{m}$, de abertura de poro, lavado com solução de HNO_3 de concentração 1,0 N. Determina-se o pH do extrato lixiviado obtido, no caso de análise de metais, deve ser feita a acidificação numa pequena alíquota. Caso ocorra a precipitação, não se deve proceder a acidificação no restante da amostra. O procedimento utilizado no ensaio de lixiviação é mostrado na Figura 22.

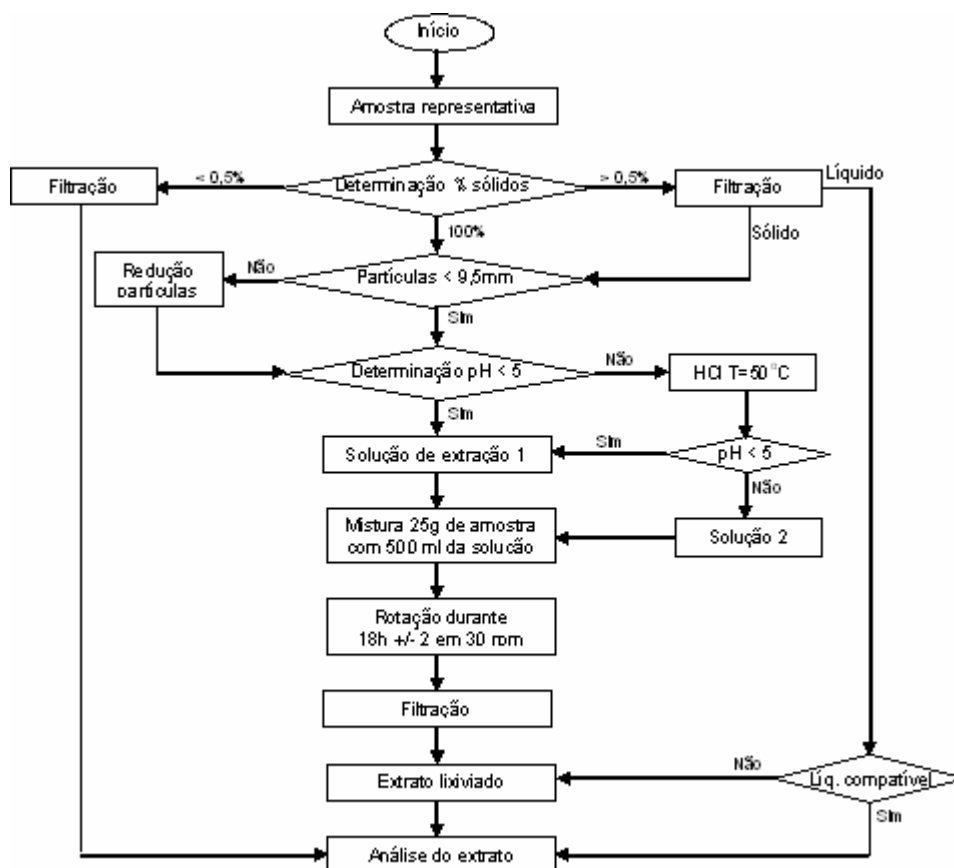


Figura 22 – Procedimento geral do ensaio de lixiviação executado
Adaptado da NBR 10005 (2004)

3.3.5 Solubilização

A determinação dos metais solubilizados dos agregados reciclados de RCD foi realizada conforme recomendações da NBR 10006 (2004) – Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos.

Em um recipiente colocou-se uma amostra seca de agregado reciclado de RCD e adicionou-se água deionizada, mantendo-se relação líquido/sólido igual a 4. A mistura foi agitada em baixa velocidade durante 5 min. Terminada a agitação, o recipiente foi tampado e mantido em repouso pelo período de 7 dias, em temperatura até 25 °C.

Após o período de repouso executou-se a medição do pH. Para a obtenção do extrato solubilizado, após os 7 dias, a amostra foi filtrada utilizando papel filtro analítico Whatman 40 de 8 µm de abertura, embebido em HNO₃ com concentração de 1,0 N, com o auxílio de uma bomba de vácuo.

Para a análise de metais a conservação do extrato solubilizado é realizada com HNO₃ concentrado no líquido filtrado, obtendo-se pH inferior a 2, o período de conservação da amostra após filtração deve ser inferior a 180 dias.

3.3.6 Ensaio de tanque

O ensaio de tanque foi escolhido para avaliar a liberação dos metais pesados das argamassas produzidas com agregados reciclados de RCD.

Para o ensaio de tanque foram produzidas argamassas moldadas em corpos-de-prova prismáticos (40x40x160mm). As argamassas foram confeccionadas utilizando-se seis faixas granulométricas (2,4; 1,2; 0,6; 0,3; 0,15 e <0,15mm) de agregado, sendo dois tipos de agregado reciclado (SBC e URM) e um agregado normal (REF) constituído pela areia padrão, normalizada pelo IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas). Na dimensão de 2,4 mm utilizou-se uma areia normal natural, já que esta não é disponibilizada pelo IPT. A fração <0,15mm utilizada na referência foi uma farinha de sílica. Na Tabela 21 pode-se verificar a nomenclatura utilizada bem como o proporcionamento de materiais utilizados, em massa.

A relação água/cimento foi fixada em função da trabalhabilidade na mesa de consistência (flow table), permanecendo dentro de 200 ± 10 mm. A relação a/c variou em função da granulometria do agregado utilizado. Depois de 24 horas os corpos-de-prova foram desmoldados, envolvidos em filme plástico e mantidos em temperatura de $20 \pm 2^\circ\text{C}$ para a cura nas idades de 3, 7 e 28 dias. Após a cura, anteriormente do ensaio de tanque, determinou-se a densidade (relação massa/volume) com o uso de uma balança com capacidade de 5000g, precisão de 0,1g, e de um paquímetro para a leitura das dimensões da amostra. A densidade das argamassas é mostrada na Tabela 22.

Tabela 21 – Proporcionamento de materiais das argamassas

Código	Cimento	Agregado normal	a/c
REF 2,4	1	3	0,55
REF 1,2	1	3	0,70
REF 0,6	1	3	0,75
REF 0,3	1	3	0,85
REF 0,15	1	3	1,00
REF <0,15	1	3	1,20
Código	Cimento	Agregado reciclado	a/c
SBC 2,4	1	3	0,74
SBC 1,2	1	3	0,70
SBC 0,6	1	3	0,75
SBC 0,3	1	3	0,85
SBC 0,15	1	3	1,00
SBC <0,15	1	3	1,20
URM 2,4	1	3	0,74
URM 1,2	1	3	0,70
URM 0,6	1	3	0,75
URM 0,3	1	3	0,85
URM 0,15	1	3	1,00
URM <0,15	1	3	1,20

Tabela 22 - Densidade das argamassas no início do ensaio de tanque (g/dm³)

	3 dias			7 dias			28 dias		
	SBC	URM	REF	SBC	URM	REF	SBC	URM	REF
2,4	1827,0	1842,6	2041,0	1812,1	1927,0	2038,7	1797,3	1833,6	2000,0
1,2	1923,4	1749,6	2175,8	1966,8	1752,3	2157,0	1953,1	1703,5	2046,5
0,6	1855,5	1919,5	2054,7	1845,7	1877,7	1991,0	1829,7	1923,8	1962,9
0,3	1814,1	1715,6	1848,8	1837,1	1743,8	1843,4	1781,3	1717,6	1937,5
0,15	1754,7	1694,9	1938,7	1708,6	1705,9	1911,7	1728,1	1699,6	1888,7
<0,15	1666,4	1780,9	1900,0	1638,3	1782,4	1904,3	1624,6	1749,2	1855,5

Os valores da resistência à compressão são mostrados na Tabela 23. Os valores referem-se à média de dois valores. O ensaio foi executado conforme NBR 13279 (2005).

Tabela 23 - Resistência à compressão das argamassas nas idades de 3, 7 e 28 dias (MPa)

Idade	REF			SBC			URM		
	3	7	28	3	7	28	3	7	28
2,40	19,58	16,68	22,44	14,16	15,48	11,35	9,64	16,58	18,58
1,20	8,91	15,37	18,48	19,78	19,39	23,92	9,23	12,74	13,31
0,60	6,53	14,43	17,43	10,16	14,66	14,11	14,70	18,77	24,10
0,30	10,48	14,59	12,27	9,66	12,49	13,83	7,36	11,25	11,30
0,15	10,39	18,22	13,67	7,33	19,73	12,19	6,14	8,68	8,53
<0,15	10,16	15,95	17,74	6,47	12,39	13,66	12,03	19,02	19,31

O ensaio de lixiviação nas amostras de argamassas foi executado segundo a norma holandesa NEN 7345 – *Determination of Leaching from Monolithic Construction Materials and Waste Materials by Means of a Diffusion Test*. Essa norma é utilizada em amostras monolíticas com a finalidade de avaliar o potencial e velocidade de lixiviação de componentes ao longo do tempo. O ensaio teve como finalidade a determinação das características de lixiviação de metais em argamassas.

O ensaio foi executado em temperatura ambiente ($T = 22 \pm 1^\circ\text{C}$). Como lixiviante, utilizou-se água desmineralizada acidificada até atingir o valor de pH aproximadamente 4 (com HNO_3). Os corpos-de-prova foram dispostos em recipiente de acrílico e cobertos pelo lixiviante mantendo-se a relação líquido/sólido igual a 5. Os corpos-de-prova foram mantidos em condições estáticas durante todo o ensaio. Durante o período fixado em cada etapa o recipiente permaneceu fechado. A Figura 23 mostra o recipiente utilizado no ensaio.

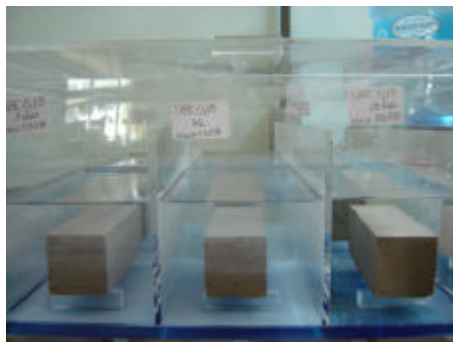


Figura 23 - Recipiente utilizado no ensaio de tanque

O período do ensaio foi dividido em 8 etapas de renovação do lixiviante: 6 horas, 1 dia, 2 dias e 6 horas, 4, 9, 16, 36 e 64 dias. O extrato lixiviado obtido em cada uma das oito etapas foi filtrado por gravidade utilizando-se papel filtro de 28 μm .

De cada um dos oito extratos coletados se formavam dois, um para a medida do pH e condutividade elétrica e o outro para a análise química. A concentração de metais foi analisada utilizando-se espectrometria de fluorescência de raios-X por energia dispersiva de raios X (EDX).

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1 Densidade dos agregados reciclados

Os resultados médios de densidade obtidos em três medidas consecutivas são apresentados na Tabela 24.

Tabela 24 - Densidade dos agregados reciclados (g/cm³)

Fração (mm)	2,4	1,2	0,6	0,3	0,15	0,075	<0,075
SBC	2,31	2,28	2,41	2,34	2,28	2,32	2,46
DP	0,01	0,039	0,022	0,116	0,045	0,235	0,304
%massa da fração miúda	11,71	18,70	23,90	22,16	14,94	4,52	3,83
URM	2,49	2,40	2,41	2,41	2,45	2,49	2,39
DP	0,029	0,044	0,058	0,06	0,057	0,02	0,091
%massa da fração miúda	8,89	20,17	17,68	23,13	16,89	8,00	5,23

DP=Desvio-padrão

As densidades encontradas demonstram que os valores são próximos aos valores da bibliografia. Existe uma tendência das frações do agregado reciclado de RCD da usina SBC apresentar densidade menor.

Para os agregados reciclados SBC o maior percentual em massa da fração miúda tem densidade de 2,41 g/cm³, o que também se verifica para os agregados reciclados URM.

4.2 Análise química dos agregados reciclados

4.2.1 Amostras de agregados reciclados de RCD da usina SBC

A Tabela 25 apresenta os teores dos óxidos presentes nos agregados reciclados SBC obtidos na análise química realizada em sete faixas granulométricas – 2,4; 1,2; 0,6; 0,3; 0,15; 0,075 e inferior a 0,075mm.

Tabela 25 - Teores dos óxidos (%) obtidos na análise química das faixas granulométricas SBC (n=4)

	2,4		1,2		0,6		0,3		0,15		0,075		<0,075	
	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP
SiO₂	35,481%	2,103%	36,504%	0,912%	38,012%	0,267%	37,555%	0,391%	38,991%	0,471%	40,916%	1,373%	39,351%	0,604%
Al₂O₃	17,124%	3,039%	19,933%	2,630%	21,100%	2,320%	21,416%	1,685%	21,037%	1,623%	19,322%	1,502%	19,093%	1,158%
CaO	33,976%	4,710%	30,191%	4,883%	26,928%	2,988%	26,425%	3,272%	26,226%	3,824%	26,823%	3,671%	27,910%	2,106%
Fe₂O₃	5,160%	0,921%	6,147%	0,998%	6,348%	1,177%	6,751%	0,815%	6,502%	0,574%	5,650%	0,545%	6,185%	0,562%
K₂O	2,812%	0,285%	2,908%	0,120%	2,873%	0,107%	2,970%	0,129%	3,123%	0,111%	3,255%	0,100%	3,334%	0,212%
TiO₂	0,733%	0,233%	0,993%	0,261%	1,002%	0,394%	1,113%	0,162%	1,024%	0,264%	0,972%	0,197%	0,988%	0,114%
MgO	1,780%	0,418%	1,439%	0,195%	1,169%	0,787%	1,438%	0,232%	0,676%	0,786%	1,383%	0,190%	1,504%	0,285%
SO₃	1,326%	0,112%	1,238%	0,109%	0,997%	0,033%	0,993%	0,082%	1,014%	0,064%	1,015%	0,048%	0,936%	0,052%
Cl	0,121%	0,242%	0,098%	0,196%	0,089%	0,177%	0,084%	0,168%	0,085%	0,171%	0,085%	0,169%	0,083%	0,167%
ZrO₂	0,062%	0,042%	0,063%	0,042%	0,067%	0,047%	0,092%	0,009%	0,091%	0,023%	0,107%	0,018%	0,111%	0,018%
V₂O₅	0,077%	0,032%	0,103%	0,024%	0,105%	0,034%	0,126%	0,032%	0,109%	0,024%	0,113%	0,011%	0,110%	0,015%
SnO₂	0,034%	0,037%	0,042%	0,024%	0,017%	0,013%	0,018%	0,006%	0,029%	0,028%	0,037%	0,031%	0,017%	0,008%
MnO	0,138%	0,024%	0,138%	0,018%	0,128%	0,013%	0,136%	0,027%	0,136%	0,023%	0,128%	0,017%	0,154%	0,007%
SrO	0,099%	0,011%	0,099%	0,021%	0,095%	0,016%	0,097%	0,020%	0,094%	0,022%	0,094%	0,017%	0,109%	0,015%
Rb₂O	0,016%	0,005%	0,020%	0,001%	0,015%	0,004%	0,021%	0,003%	0,020%	0,003%	0,021%	0,003%	0,021%	0,003%
Cr₂O₃	0,019%	0,008%	0,017%	0,015%	0,017%	0,005%	0,022%	0,013%	0,014%	0,010%	0,006%	0,007%	0,018%	0,013%
CuO	0,012%	0,001%	0,017%	0,004%	0,025%	0,009%	0,021%	0,006%	0,021%	0,010%	0,018%	0,008%	0,018%	0,006%
NiO	0,003%	0,006%	0,000%	0,000%	0,003%	0,006%	0,008%	0,003%	0,001%	0,002%	0,007%	0,012%	0,000%	0,000%
CdO	0,010%	0,003%	0,006%	0,001%	0,006%	0,004%	0,008%	0,002%	0,006%	0,005%	0,006%	0,005%	0,007%	0,001%
ZnO	0,016%	0,003%	0,025%	0,011%	0,032%	0,008%	0,034%	0,006%	0,039%	0,009%	0,028%	0,011%	0,032%	0,006%
As₂O₃	0,005%	0,004%	0,009%	0,002%	0,010%	0,003%	0,009%	0,003%	0,007%	0,005%	0,007%	0,002%	0,009%	0,003%
Y₂O₃	0,007%	0,004%	0,009%	0,007%	0,009%	0,003%	0,008%	0,004%	0,010%	0,003%	0,007%	0,005%	0,009%	0,006%

DP, desvio padrão.

Os espectrogramas da Figura 24 representam uma das quatro amostras SBC. Os elementos principais, em forma de óxidos totais, são a sílica (**SiO₂**), a alumina (**Al₂O₃**), o cálcio (**CaO**) e ferro (**Fe₂O₃**). Esses constituintes principais se repetem em todas as amostras e nas sete faixas granulométricas estudadas. Esses constituintes majoritários também foram identificados por ÂNGULO (2005) em estudo com agregados reciclados de RCD.

Nota-se ainda, a presença de metais pesados como cromo, cobre, zinco, níquel, titânio, cádmio, arsênio e vanádio.

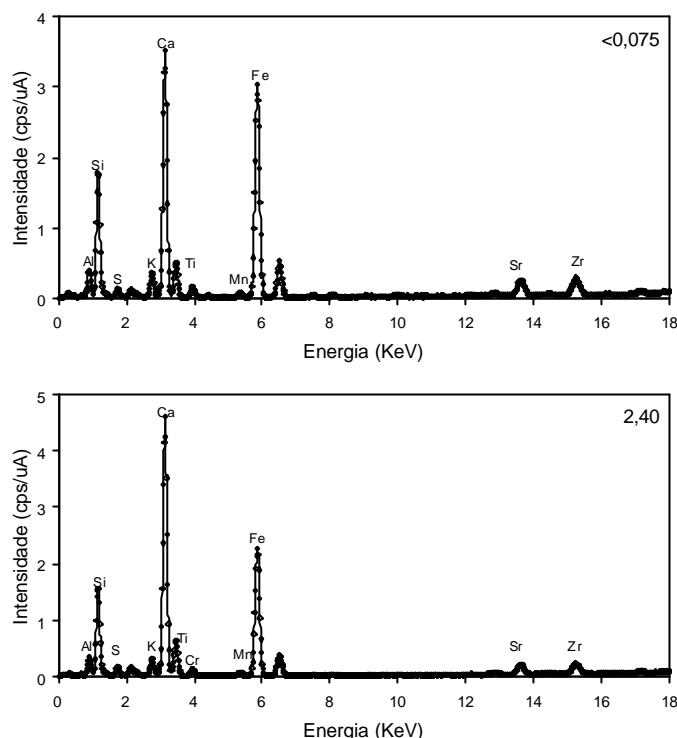


Figura 24 – Espectrograma dos agregados reciclados SBC nas faixas granulométricas inferior a 0,075 e 2,40 mm

O percentual dos constituintes majoritários dos agregados reciclados SBC são mostrados na Figura 25. Os elementos **SiO₂** e **CaO** são responsáveis por mais de 50% da constituição dos agregados reciclados. Considerando também **Al₂O₃** e **Fe₂O₃** tais compostos representam 90% da composição do material. Bianchini *et al.* (2005) em estudo com agregados reciclados fracionados obtiveram percentuais semelhantes.

Ocorre maior teor de **SiO₂** nas frações mais finas do agregado reciclado, esse perfil se inverte em relação ao **CaO**, este que possui maior concentração nas faixas granulométricas 2,4 e 1,2 mm, mantendo-se praticamente constante nas demais. O teor de **Al₂O₃** e **Fe₂O₃** não mostrou grande variação nas distintas faixas granulométricas estudadas, resultados que são convergentes aos de Bianchini *et al.* (2005).

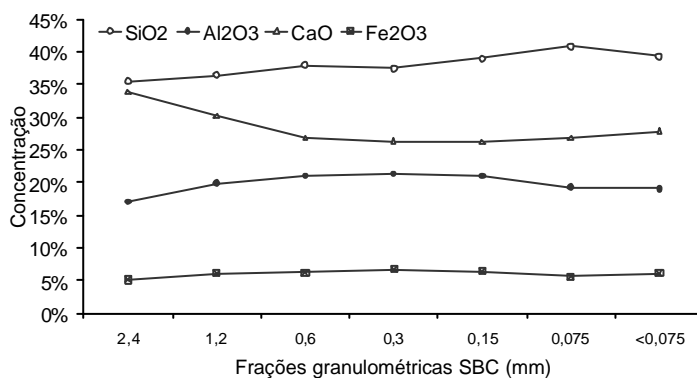


Figura 25 - Diagrama apresentando as variações de SiO₂, Al₂O₃, CaO e Fe₂O₃ nas diferentes frações SBC

É constatada a presença de metais pesados tais como **As**, **Cd**, **Cr**, **Cu**, **Mn**, **Ni**, **Ti** e **Zn**. Desses metais, com exceção do **Ti**, aqueles que mostraram maiores teores foram **Mn**, **Zn** e **Cu**. Entretanto, esses teores foram abaixo de 0,2%. As concentrações variaram pouco em função da faixa granulométrica do agregado. O **Ti** mostrou concentração em torno de 1%.

Bianchini *et al.* (2005) comentam que os metais concentram-se principalmente nas frações mais finas, pois permanecem presos por minerais argilosos que são mais abundantes nas frações inferiores a 0,075mm. Entretanto, na Figura 26 verifica-se que no estudo com o agregado reciclado em seu estado natural não ocorreu uma tendência clara de concentração nas frações granulométricas.

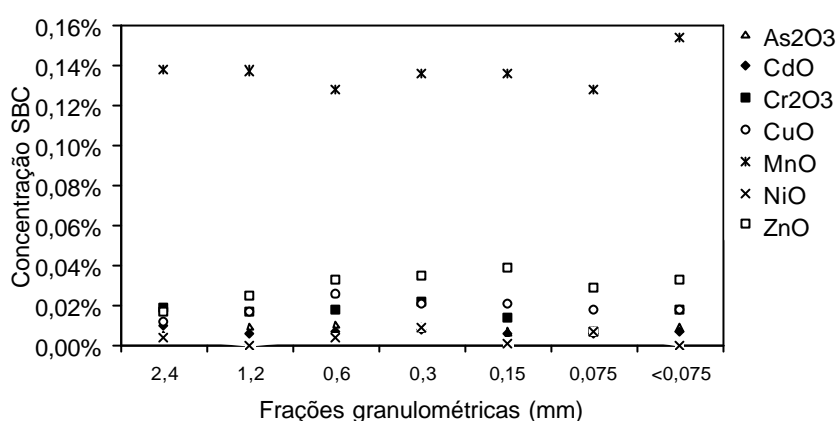


Figura 26 - Concentração dos metais pesados nas frações granulométricas SBC

4.2.2 Amostras de agregados reciclados de RCD da usina URM

A Tabela 26 apresenta os teores dos óxidos presentes nos agregados reciclados URM obtidos na análise química realizada em sete faixas granulométricas – 2,4; 1,2; 0,6; 0,3; 0,15; 0,075 e inferior a 0,075mm.

Tabela 26 – Teores dos óxidos (%) obtidos na análise química das faixas granulométricas URM

	2,4		1,2		0,6		0,3		0,15		0,075		<0,075	
	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP
SiO₂	47,424%	1,410%	46,799%	0,506%	47,277%	0,747%	46,695%	1,136%	52,743%	5,887%	49,943%	1,288%	44,916%	0,827%
Al₂O₃	27,083%	1,138%	27,273%	1,186%	26,583%	0,727%	26,269%	0,635%	22,661%	2,629%	23,163%	1,089%	23,687%	0,563%
CaO	12,499%	0,642%	12,393%	1,019%	12,697%	0,882%	13,417%	0,989%	12,908%	1,862%	14,775%	0,642%	17,878%	0,607%
Fe₂O₃	6,517%	0,250%	6,836%	0,190%	6,817%	0,262%	6,827%	0,316%	5,506%	1,178%	5,451%	0,210%	6,320%	0,124%
K₂O	2,253%	0,163%	2,193%	0,125%	2,097%	0,078%	2,126%	0,139%	1,980%	0,175%	2,156%	0,068%	2,196%	0,095%
TiO₂	1,457%	0,091%	1,506%	0,114%	1,462%	0,195%	1,537%	0,105%	1,366%	0,231%	1,380%	0,167%	1,543%	0,262%
MgO	1,297%	0,120%	1,338%	0,117%	1,410%	0,102%	1,547%	0,091%	1,408%	0,112%	1,504%	0,225%	1,777%	0,269%
SO₃	0,768%	0,130%	0,870%	0,106%	0,895%	0,061%	0,868%	0,063%	0,718%	0,233%	0,833%	0,144%	0,806%	0,090%
Cl	0,259%	0,031%	0,291%	0,196%	0,235%	0,043%	0,174%	0,078%	0,201%	0,092%	0,254%	0,033%	0,269%	0,029%
ZrO₂	0,089%	0,081%	0,109%	0,062%	0,138%	0,018%	0,120%	0,068%	0,084%	0,041%	0,166%	0,036%	0,174%	0,019%
V₂O₅	0,127%	0,028%	0,157%	0,028%	0,159%	0,014%	0,157%	0,021%	0,136%	0,022%	0,134%	0,018%	0,154%	0,023%
SnO₂	0,044%	0,025%	0,048%	0,017%	0,036%	0,022%	0,054%	0,020%	0,072%	0,052%	0,070%	0,034%	0,036%	0,014%
MnO	0,074%	0,008%	0,075%	0,004%	0,077%	0,011%	0,086%	0,006%	0,064%	0,025%	0,067%	0,013%	0,111%	0,011%
SrO	0,042%	0,002%	0,042%	0,006%	0,048%	0,018%	0,048%	0,012%	0,045%	0,025%	0,046%	0,016%	0,052%	0,008%
Rb₂O	0,013%	0,003%	0,011%	0,004%	0,009%	0,001%	0,011%	0,003%	0,009%	0,005%	0,010%	0,002%	0,010%	0,002%
Cr₂O₃	0,013%	0,005%	0,012%	0,007%	0,014%	0,005%	0,020%	0,005%	0,010%	0,010%	0,006%	0,005%	0,013%	0,009%
CuO	0,013%	0,004%	0,013%	0,003%	0,012%	0,004%	0,013%	0,008%	0,013%	0,004%	0,015%	0,004%	0,014%	0,003%
NiO	0,002%	0,003%	0,003%	0,003%	0,004%	0,004%	0,002%	0,003%	0,004%	0,006%	0,002%	0,003%	0,001%	0,003%
CdO	0,005%	0,003%	0,008%	0,002%	0,005%	0,003%	0,005%	0,003%	0,004%	0,002%	0,005%	0,003%	0,009%	0,003%
ZnO	0,012%	0,007%	0,015%	0,004%	0,016%	0,007%	0,013%	0,003%	0,019%	0,007%	0,012%	0,005%	0,022%	0,008%
As₂O₃	0,004%	0,002%	0,004%	0,003%	0,003%	0,003%	0,004%	0,003%	0,003%	0,003%	0,005%	0,003%	0,004%	0,003%
Y₂O₃	0,005%	0,003%	0,004%	0,003%	0,005%	0,003%	0,007%	0,002%	0,005%	0,003%	0,004%	0,003%	0,008%	0,001%

DP, desvio-padrão.

Os espectrogramas da Figura 27 representam uma das cinco amostras URM. Os elementos principais, em forma de óxidos, são a sílica (**SiO₂**), a alumina (**Al₂O₃**), o cálcio (**CaO**) e ferro (**Fe₂O₃**). Esses constituintes principais se repetem em todas as amostras e nas sete faixas granulométricas fracionadas.

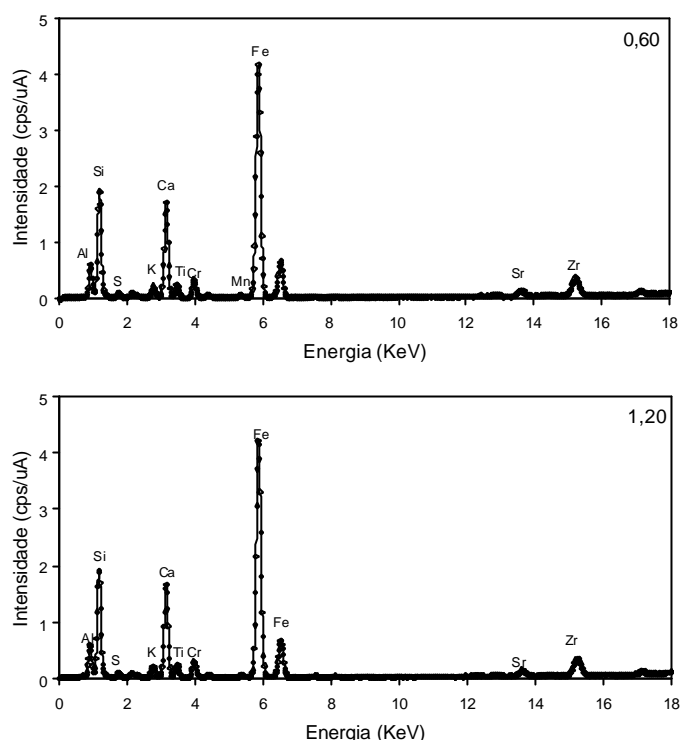


Figura 27 - Espectrograma dos agregados reciclados URM nas faixas granulométricas 0,60 e 1,20 mm

Na Figura 28 pode-se observar o percentual dos constituintes majoritários dos agregados reciclados URM. Assim como visualizado nos espectros e nas amostras SBC, os óxidos majoritários são **SiO₂**, **CaO**, **Al₂O₃** e **Fe₂O₃**. Juntos representam cerca de 90% da constituição total do agregado.

A **SiO₂** é responsável por cerca de 50% da constituição do agregado reciclado URM. Os finos dos agregados reciclados são mais abundantes de sílica que as demais faixas granulométricas. O **CaO** também se concentra em maior quantidade nos finos dos agregado. A **Al₂O₃** concentrou-se nas frações com maior diâmetro de grãos. Cerca de 6% é a participação do **Fe₂O₃** na composição dos agregados, esse percentual não variou muito em função da faixa granulométrica. De forma geral, ocorre variação da concentração nas frações inferiores a 0,30 mm, nas demais faixas granulométricas a concentração varia pouco.

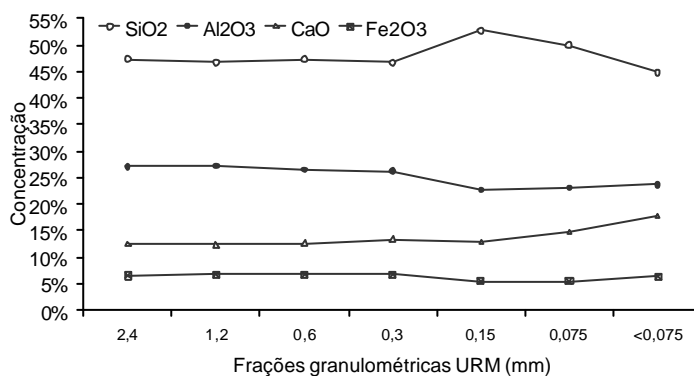


Figura 28 - Diagrama apresentando as variações de SiO₂, Al₂O₃, CaO e Fe₂O₃ nas diferentes frações URM

É constatada a presença de metais pesados tais como **As**, **Cd**, **Cr**, **Cu**, **Mn**, **Ni**, **Ti** e **Zn**, conforme Figura 29. Desses metais, com exceção do **Ti**, aqueles que mostraram maiores concentrações foram **Mn**, **Cr** e **Zn**. Porém, essas concentrações foram pequenas, abaixo de 0,01%. As concentrações variaram pouco em função da faixa granulométrica do agregado.

O **Ti** apresentou concentração superior aos demais metais pesados detectados, sendo em torno de 1,5%, não ocorrendo grande variação de uma fração granulométrica para outra.

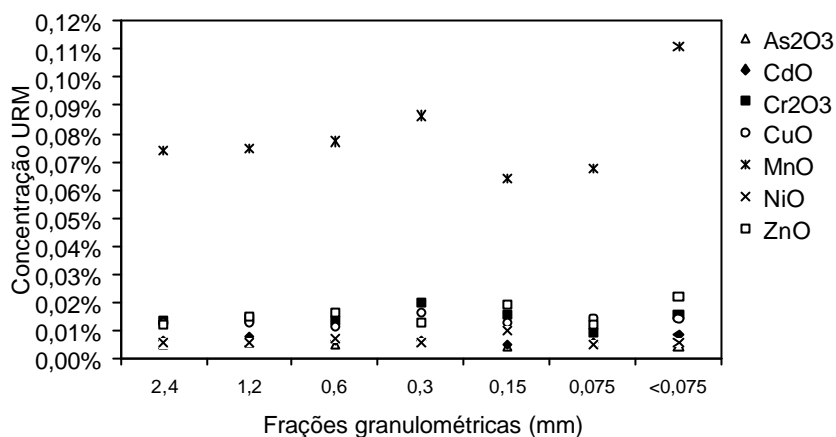


Figura 29 - Concentração dos metais de transição nas frações granulométricas URM

4.3 Lixiviação dos agregados reciclados

Os valores médios obtidos no ensaio de lixiviação nas amostras SBC e URM, respectivamente, são apresentados nas Tabelas 27 e 28. Os valores correspondem à média e foram incorporados os valores mínimos e máximos encontrados.

Tabela 27 - Concentração média lixiviada dos elementos nas diferentes faixas granulométricas SBC (mg/L)

	2,4			1,2			0,6			0,3			0,15			0,075			<0,075		
	Média	Mín	Máx	Média	Mín	Máx	Média	Mín	Máx	Média	Mín	Máx	Média	Mín	Máx	Média	Mín	Máx	Média	Mín	Máx
As	0,00	0,00	0,00	6,63	5,09	7,61	4,79	0,00	8,90	5,34	0,00	9,25	0,00	0,00	0,00	5,61	0,00	14,01	2,38	0,00	5,57
Ca	1345,27	1297,48	1369,88	1961,15	1861,53	2067,54	1357,48	1260,36	1432,47	1393,70	1378,93	1412,99	1418,95	1479,88	1321,55	1887,14	1880,88	1891,48	2660,52	1838,27	3880,01
Cd	5,86	0,00	17,00	7,69	0,00	17,70	5,18	0,00	10,93	0,00	0,00	0,00	8,20	0,00	20,43	6,04	0,00	17,70	8,51	0,00	14,16
Cl	5901,14	3632,19	8653,11	3649,55	1591,48	5676,44	4861,26	3774,42	5852,99	6129,87	5486,76	6489,37	6202,33	5666,88	6700,46	4240,96	2235,61	5442,26	4795,38	1924,53	8835,64
Cr	18,59	12,69	31,61	0,00	0,00	0,00	7,25	0,00	14,69	9,67	0,00	24,17	0,00	0,00	0,00	9,81	0,00	24,27	12,78	10,88	13,74
Cu	18,15	13,83	27,11	17,41	12,31	23,22	20,61	14,76	24,48	21,31	13,37	29,59	19,20	13,94	23,55	13,14	6,24	19,87	11,47	4,98	19,39
Fe	21,78	12,61	33,71	17,92	10,84	24,33	10,89	8,55	13,14	22,39	9,25	34,46	19,21	14,96	26,41	14,62	10,30	17,72	14,83	0,00	27,28
K	0,00	0,00	0,00	44,38	0,00	133,13	3,97	0,00	11,90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mn	5,95	0,00	12,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	11,65	0,00	20,29	13,45	0,00	28,78	0,00	0,00	0,00	9,54	0,00	29,63
Ni	9,89	0,00	15,77	4,35	0,00	8,78	3,32	0,00	6,83	2,70	0,00	5,46	7,66	0,00	12,99	0,00	0,00	0,00	11,81	11,64	11,95
Rb	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,19	0,00	8,25	0,00	0,00	0,00	2,00	0,00	4,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Sc	0,00	0,00	0,00	63,59	43,31	90,69	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	42,82	0,00	88,20	38,86	0,00	78,33
Se	8,66	7,26	10,45	0,00	0,00	0,00	6,79	0,00	7,09	7,05	5,32	10,24	4,05	0,00	6,21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Sn	16,26	13,01	22,37	11,66	0,00	20,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	12,63	0,00	19,57	0,00	0,00	0,00	11,79	7,73	16,43
Sr	7,50	0,00	11,38	7,24	4,64	10,31	9,27	7,42	11,08	11,95	7,90	16,63	11,36	5,19	15,00	8,25	0,00	12,58	8,91	6,38	11,94
Ti	0,00	0,00	0,00	19,01	16,59	20,76	15,63	0,00	22,61	15,31	0,00	37,19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
V	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Zn	10,84	10,14	12,14	8,88	0,00	20,54	15,55	12,29	18,54	7,37	5,40	9,94	7,68	0,00	11,90	4,11	0,00	11,89	4,03	0,00	9,80
Zr	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,37	0,00	8,80	0,00	0,00	0,00	5,15	0,00	9,07	2,42	0,00	6,12	0,00	0,00	0,00

Média aritmética obtida a partir de quatro amostras lixiviadas de agregado reciclado SBC.

Mín, valor mínimo obtido nos extratos lixiviados.

Máx, valor máximo obtido nos extratos lixiviados.

Tabela 28 - Concentração média lixiviada dos elementos nas diferentes faixas granulométricas URM (mg/L)

	2,4			1,2			0,6			0,3			0,15			0,075			<0,075		
	Média	Mín	Máx	Média	Mín	Máx	Média	Mín	Máx	Média	Mín	Máx	Média	Mín	Máx	Média	Mín	Máx	Média	Mín	Máx
As	0,00	0,00	0,00	8,45	4,95	12,88	2,18	0,00	6,58	0,00	0,00	0,00	3,55	0,00	12,42	3,79	0,00	8,64	4,17	0,00	7,75
Ca	1426,70	831,97	1756,08	1499,91	1404,84	1540,48	1366,32	1250,62	1541,83	1109,48	851,97	1349,59	1103,00	876,50	1357,02	1795,25	1669,26	1893,20	2230,91	2117,27	2298,95
Cd	13,25	0,00	19,26	18,01	7,22	24,29	10,48	6,24	13,65	12,43	0,00	24,01	15,76	8,74	25,60	11,19	0,00	17,89	8,75	0,00	14,74
Cl	5411,56	3241,95	8970,46	9236,82	8082,87	10550,76	9205,92	8837,73	9585,43	8591,43	8391,86	8727,90	8670,81	8358,52	9312,68	6935,19	5337,01	9517,16	6229,39	4488,75	8800,53
Cr	12,52	0,00	25,95	7,20	0,00	12,61	7,33	0,00	13,43	15,57	0,00	30,93	7,49	0,00	13,11	13,44	0,00	25,17	14,57	0,00	25,63
Cu	21,34	14,42	26,82	20,49	15,96	25,59	16,70	6,64	25,19	21,03	16,77	23,96	20,59	12,48	26,75	19,87	13,55	29,63	22,61	18,27	30,54
Fe	19,83	16,29	23,54	23,27	7,72	42,03	18,04	0,00	25,16	23,83	15,40	30,95	19,14	8,36	32,37	25,09	17,32	31,37	21,19	11,02	31,53
K	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mn	16,35	0,00	28,96	8,12	0,00	23,97	6,33	0,00	16,91	16,51	0,00	34,86	8,94	0,00	15,53	8,44	0,00	18,00	15,13	8,69	25,35
Ni	7,17	0,00	14,28	6,46	5,79	7,32	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,12	0,00	8,61	9,28	0,00	14,31	7,21	0,00	15,36
Rb	0,00	0,00	0,00	1,67	0,00	4,96	3,61	0,00	7,81	4,47	0,00	11,70	3,49	0,00	10,26	2,43	0,00	7,39	2,64	0,00	6,92
Sc	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	17,76	0,00	53,28	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	27,00	0,00	43,74	0,00	0,00	0,00
Se	7,18	0,00	12,23	3,40	0,00	8,86	4,07	0,00	7,88	6,60	0,00	12,67	5,48	0,00	13,59	0,00	0,00	0,00	4,10	0,00	7,53
Sn	1,83	0,00	7,32	4,88	0,00	14,12	12,07	0,00	24,50	12,13	0,00	23,27	14,52	9,32	20,05	9,80	0,00	15,78	5,71	0,00	16,08
Sr	3,85	0,00	7,24	8,16	4,55	11,53	6,81	0,00	16,35	3,16	0,00	9,20	7,20	0,00	11,31	8,12	6,15	11,03	13,36	11,12	15,33
Ti	14,72	0,00	28,44	0,00	0,00	0,00	10,29	0,00	27,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	10,17	0,00	30,77
V	16,84	0,00	28,83	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	13,51	0,00	21,98	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Zn	12,00	5,36	17,35	10,49	0,00	19,01	12,39	5,80	19,95	13,53	0,00	21,14	11,12	0,00	18,90	10,84	0,00	22,81	11,37	4,54	15,60
Zr	4,17	0,00	6,13	3,73	0,00	7,66	1,56	0,00	4,24	0,00	0,00	0,00	1,61	0,00	4,84	5,27	0,00	5,78	3,64	0,00	7,34

Média aritmética obtida a partir de cinco amostras lixiviadas de agregado reciclado URM.

Mín, valor mínimo obtido nos extratos lixiviados.

Máx, valor máximo obtido nos extratos lixiviados.

Os elementos detectados (exceto Ca e Cl) nos agregados reciclados, SBC e URM, estão representados na Figura 30. Pode-se observar que **As**, **Cd**, **Cr**, **Cu**, **Fe**, **Se** e **Zn** foram os mais freqüentes, aparecendo na maioria das sete frações granulométricas. Em geral, as concentrações médias obtidas nas amostras URM foram ligeiramente superiores às SBC. **Sc** e **K** mostraram concentrações bastante discrepantes das demais nas amostras SBC.

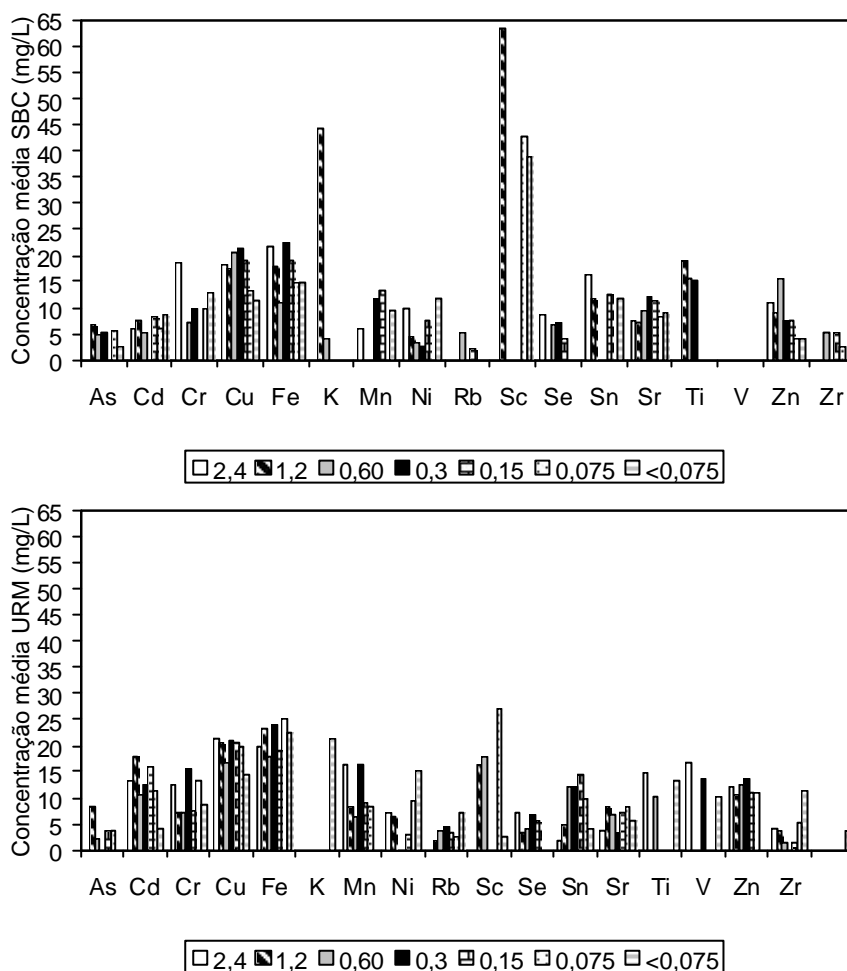


Figura 30 – Concentração média dos elementos lixiviados nas amostras SBC e URM (mg/L)

Os metais mais freqüentes estão destacados na Figura 31. As maiores concentrações médias foram representadas pelos metais **Cr**, **Cu**, **Fe** e **Zn**.

O **Fe** apresentou concentração média entre 10 - 22 mg/L e 18 – 28 mg/L, nas amostras SBC e URM, respectivamente.

O **Cu** mostrou concentração média na faixa de 10 a 22 mg/L. Os valores obtidos para o **Cr** mantiveram-se entre 7 e 18 mg/L e para o **Zn** entre 4 e 15 mg/L. Especificamente para o **Cr**, valores próximos foram obtidos por Townsend *et al.* (2004), apresentando valor médio de 14 mg/L. Já os resultados obtidos pelos pesquisadores para os metais **Cu** e **Zn** foram bastante superiores sendo 120 e 80 mg/L, respectivamente.

Esperava-se que a concentração lixiviada dos metais fosse superior nas frações mais finas já que a área de contato é maior, entretanto isso não foi

observado nas amostras analisadas. Uma maior superfície específica resulta em maiores chances de liberação do contaminante.

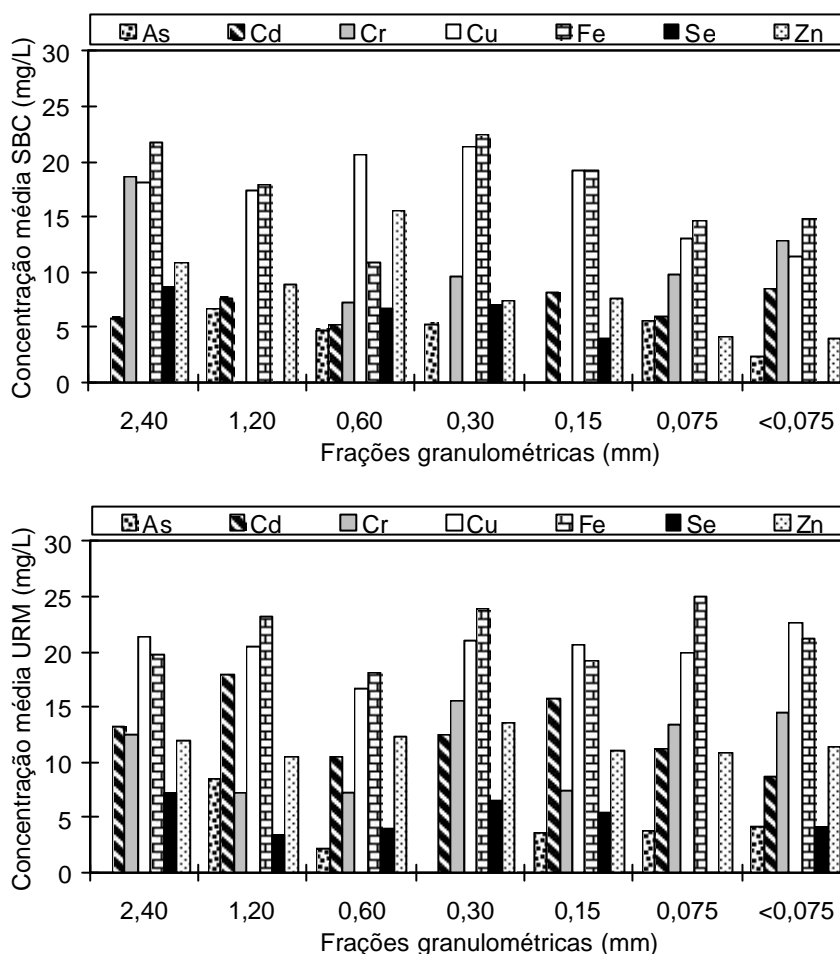


Figura 31 – Concentração média do As, Cd, Cr, Cu, Fe, Se e Zn nas amostras SBC e URM

A concentração média do **Ca** variou em função da faixa granulométrica, sendo que a maior liberação do metal ocorreu nas frações mais finas, como pode ser visualizado na Figura 32. A concentração média do cálcio nas duas amostras (SBC e URM) foram bastante semelhantes.

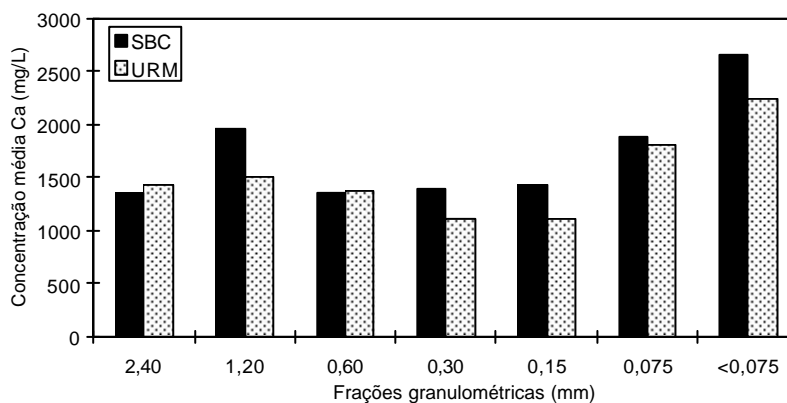


Figura 32 - Concentração média do Ca em função da faixa granulométrica

A concentração do **Cl** nas amostras URM mostra dois grupos distintos de médias, sendo um deles onde ocorreram as menores liberações, nos finos (0,075 e <0,075 mm) e na faixa granulométrica 2,40 mm. O outro grupo é composto pelas mais altas médias obtidas, sendo nas quatro faixas granulométricas restantes das analisadas.

A NBR 10004 (2004) – Resíduos Sólidos: Classificação - fornece limites para os seguintes componentes inorgânicos que possam estar presentes em extrato lixiviado: arsênio (**As**), bário (**Ba**), cádmio (**Cd**), chumbo (**Pb**), cromo (**Cr**), mercúrio (**Hg**), prata (**Ag**) e selênio (**Se**). Desses componentes, **As**, **Cr**, **Cd** e **Se** foram detectados nas amostras obtidas após execução do ensaio de lixiviação nos agregados reciclados SBC e URM, apresentando concentração média superior aos limites recomendados pela norma, conforme Figura 33. Com exceção daqueles elementos em que os valores mínimos estiveram abaixo do limite de detecção do equipamento e que estão apresentados nas tabelas como zero, ocorreu que os valores individuais apresentaram respectivas concentrações superiores aos limites recomendados em norma.

O **Cd** mostrou concentrações médias bastante significativas, principalmente nas amostras URM, onde na melhor das situações lixiviou cerca de 16 vezes mais quando comparado ao limite estabelecido pela norma que é de 0,5 mg/L. Sua maior concentração média lixiviada foi detectada na amostra URM 1,20 mm, sendo 36 vezes superior ao limite. Nas frações SBC, o **Cd** foi detectado na faixa de 5 e 8 mg/L.

Nas amostras URM o **Cr** lixiviou cerca de 3 vezes ao valor limite por norma que é 5 mg/L. A pior situação nas amostras SBC ocorreu na fração 2,40 mm, onde a concentração média lixiviada foi aproximadamente 4 vezes superior ao limite da NBR 10004. As demais frações mantiveram-se entre 7 e 12 mg/L.

O **Se** mostrou concentrações médias cerca de 8 vezes superiores aos limite estabelecido em norma. No extrato lixiviado os valores de concentração média variaram de 3 a 8 mg/L. A maior concentração média lixiviada do **As** foi na fração 1,20 mm, em ambas as amostras, sendo 6 e 8 vezes superior ao limite recomendado.

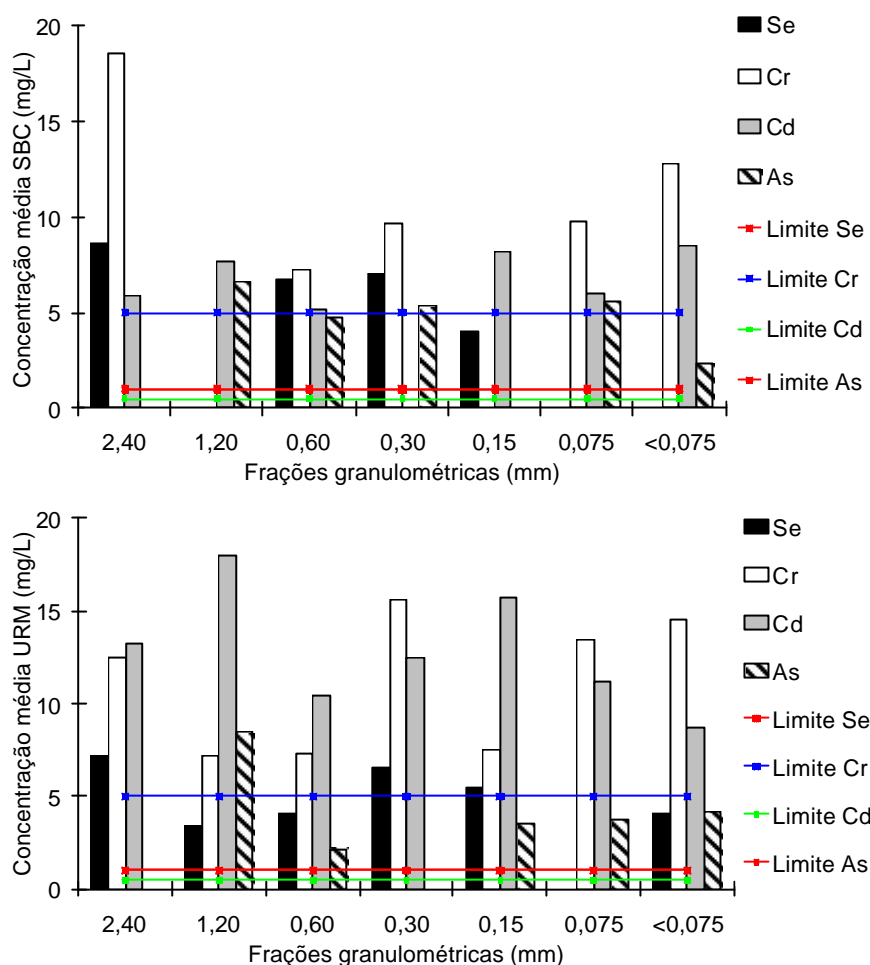


Figura 33 – Concentração média lixiviada (mg/L) do Se, Cr, Cd e As e limites NBR 10004

Os valores de pH medidos no início da execução do ensaio de lixiviação (i) mostram que os agregados reciclados de RCD promovem um meio com comportamento bastante alcalino, conforme Figura 34. Alguns resíduos de base cimentícia inseridos nos agregados reciclados provenientes de RCD podem ter contribuído para a alcalinidade da amostra, esta que pode tornar os metais menos solúveis (TOWNSEND *et al.*, 2004). Após as 18 horas de agitação do ensaio (f) de lixiviação os valores de pH diminuíram, mantendo-se entre 5,00 e 7,00. Isso pode ter ocorrido devido à solução ácida que foi utilizada como lixiviante.

As frações mais finas apresentaram valores maiores de pH. Os valores de pH obtidos para os agregados reciclados SBC foram superiores aos URM. Isto pode ser explicado pela maior quantidade de partículas de cimentos aderidas nos agregados reciclados SBC. As amostras URM possuíam maior quantidade de resíduos cerâmicos, visualizados pela coloração vermelha.

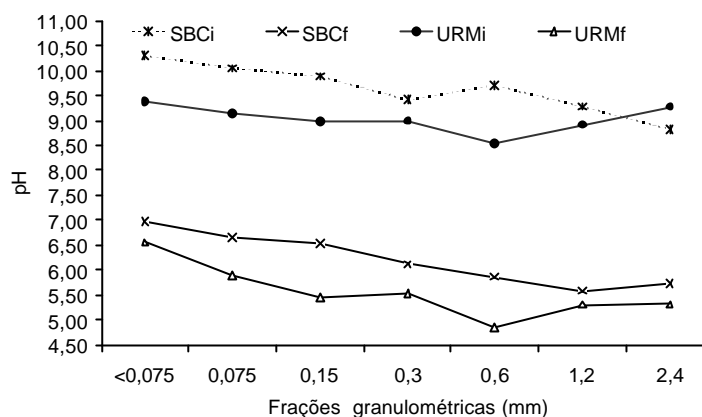


Figura 34 - Valores de pH antes e depois do ensaio de lixiviação

A concentração média dos elementos **As**, **Cd**, **Cr** e **Se** em função do pH obtido após ensaio de lixiviação pode ser visualizado na Figura 35. Esses elementos lixiviaram mais na faixa de pH entre 5,0 e 6,0. Os valores de concentração em função do pH não apresentaram uma tendência clara, houve grande variação, ora em um dado valor de pH a concentração foi alta ora baixa. Pode-se dizer que a lixiviação ocorreu de forma bem específica para cada elemento, conforme sua amostra, e lixiviou entre os valores de pH 5 e 7. Townsend *et al.* (2004) comenta que nessas faixas de pH a lixiviabilidade dos metais diminui, porém isso não se verificou.

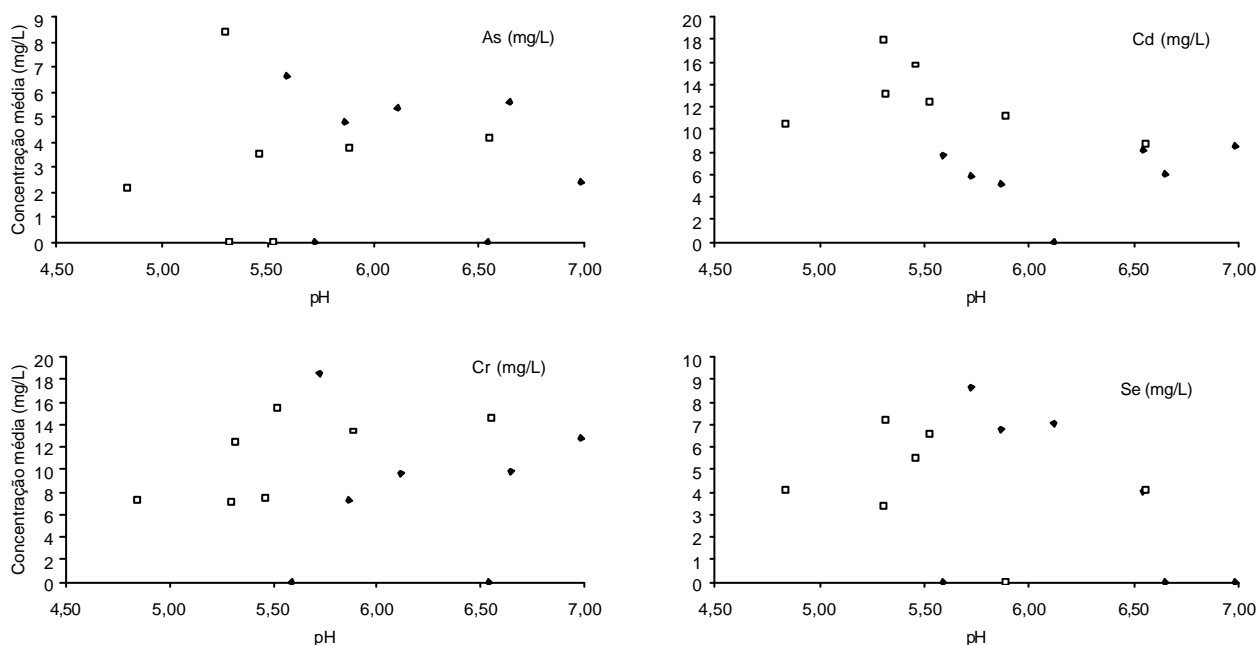


Figura 35 - Concentração média do As, Cd, Cr, Se em função do pH
? SBC ? URM

4.4 Solubilização dos agregados reciclados

Os resultados obtidos no ensaio de solubilização nas amostras SBC e URM são apresentados nas Tabelas 29 e 30. Os valores correspondem à média, desconsiderando os valores espúrios.

Os elementos solubilizados (desconsiderando o **Ca** e **Cl**) dos agregados reciclados fracionados (2,4; 1,2; 0,60; 0,30; 0,15; 0,075 e <0,075) são apresentados na Figura 36. Os elementos freqüentes, tanto nas amostras SBC quanto URM, em praticamente todas as faixas granulométricas do agregado reciclado foram **As**, **Cd**, **Cu**, **Fe**, **Sn** e **Zn**. Nas amostras URM ainda mostraram-se freqüentes **Cr**, **Mn** e **Se**. As maiores concentrações foram verificadas na solubilização do **Cd**, **Cu** e **Fe**.

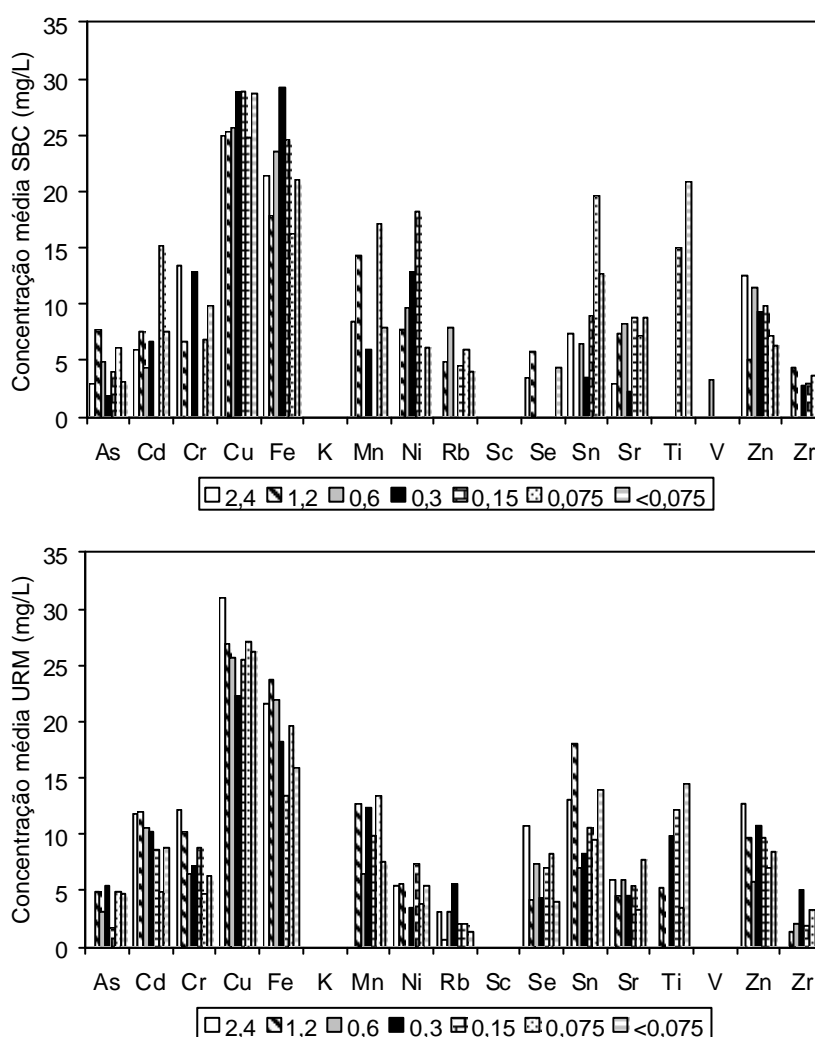


Figura 36 - Concentração média dos elementos solubilizados nas amostras SBC e URM (mg/L)

Tabela 29 - Concentração média solubilizada dos elementos nas diferentes faixas granulométricas SBC (mg/L)

	2,4			1,2			0,6			0,3			0,15			0,075			<0,075		
	mg/L	Mín	Máx	mg/L	Mín	Máx	mg/L	Mín	Máx	mg/L	Mín	Máx	mg/L	Mín	Máx	mg/L	Mín	Máx	mg/L	Mín	Máx
As	0,00	0,00	0,00	4,96	0,00	7,96	3,14	0,00	6,98	5,46	0,00	8,81	1,63	0,00	4,17	4,94	0,00	8,15	4,72	0,00	10,54
Ca	153,17	56,14	262,97	234,30	121,51	299,78	275,90	273,94	278,66	225,21	104,92	288,12	252,16	218,11	274,63	326,62	265,44	359,25	489,63	444,22	533,09
Cd	11,80	10,18	14,03	11,96	8,79	19,25	10,51	5,70	15,55	10,25	0,00	24,99	8,69	0,00	17,17	4,85	0,00	13,39	8,81	0,00	14,63
Cl	9186,27	8976,85	9360,89	8145,48	6192,89	9114,64	9005,67	8419,35	9139,50	9510,98	8937,41	9947,63	6744,78	533,79	9571,45	7907,14	3950,21	9416,42	8917,22	8030,56	9418,26
Cr	12,13	10,82	15,29	10,20	0,00	19,22	6,44	0,00	17,48	7,15	0,00	25,52	8,88	0,00	21,24	4,65	0,00	11,65	6,23	0,00	18,31
Cu	30,98	4,30	13,89	26,91	21,21	30,18	25,71	23,16	28,46	22,25	19,69	26,47	25,53	17,75	32,29	27,14	19,47	35,53	26,23	21,01	31,39
Fe	21,65	16,17	32,85	23,77	8,03	30,84	21,91	5,89	31,52	18,28	0,00	37,44	13,46	10,81	16,29	19,55	17,76	20,33	15,83	11,79	19,78
K	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mn	0,00	0,00	0,00	12,68	0,00	26,52	6,41	0,00	16,69	12,41	0,00	30,14	9,89	0,00	19,45	13,38	11,37	16,95	7,55	0,00	17,14
Ni	5,45	0,00	15,54	5,54	0,00	7,84	0,00	0,00	0,00	3,52	0,00	9,96	7,37	0,00	18,07	3,78	0,00	7,40	5,42	0,00	14,33
Rb	3,05	0,00	8,10	0,67	0,00	3,33	3,14	0,00	6,20	5,57	3,75	8,21	1,97	0,00	5,77	2,00	0,00	6,94	1,38	0,00	3,70
Sc	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Se	10,71	10,18	21,94	4,11	0,00	7,94	7,33	3,97	19,50	4,29	0,00	11,57	6,96	5,90	8,35	8,29	6,04	9,57	4,08	0,00	8,51
Sn	13,11	6,17	21,94	18,11	0,00	27,39	6,99	0,00	17,58	8,31	0,00	13,64	10,61	0,00	21,04	9,57	0,00	19,09	13,90	0,00	21,81
Sr	5,91	0,00	8,84	4,46	0,00	9,95	5,94	0,00	12,56	4,54	0,00	7,87	5,34	0,00	9,42	3,34	0,00	6,72	7,72	5,43	11,94
Ti	0,00	0,00	0,00	5,30	0,00	26,52	0,00	0,00	0,00	9,77	0,00	28,18	12,14	0,00	27,67	3,47	0,00	17,35	14,40	0,00	43,04
V	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Zn	12,69	5,01	19,24	9,69	7,08	12,28	5,79	0,00	11,84	10,82	6,50	14,37	9,71	0,00	17,11	6,93	4,58	10,21	8,46	4,87	10,91
Zr	0,00	0,00	0,00	1,41	0,00	5,65	2,07	0,00	5,29	5,03	0,00	9,79	1,92	0,00	5,95	3,28	0,00	6,12	0,00	0,00	0,00

Média aritmética obtida a partir de quatro amostras solubilizadas de agregado reciclado SBC.

Min, valor mínimo obtido nos extratos solubilizados.

Máx, valor máximo obtido nos extratos solubilizados.

Tabela 30 - Concentração média solubilizada dos elementos nas diferentes faixas granulométricas URM (mg/L)

	2,4			1,2			0,6			0,3			0,15			0,075			<0,075		
	mg/L	Mín	Máx	mg/L	Mín	Máx	mg/L	Mín	Máx	mg/L	Mín	Máx	mg/L	Mín	Máx	mg/L	Mín	Máx	mg/L	Mín	Máx
As	2,88	0,00	7,91	7,67	0,00	17,27	4,85	0,00	7,85	1,81	0,00	4,03	3,95	0,00	8,56	6,08	0,00	10,22	3,02	0,00	7,23
Ca	96,62	47,84	179,72	118,10	41,10	199,00	155,57	0,00	399,12	180,98	80,26	239,94	181,63	75,02	246,39	230,29	219,57	238,83	279,45	119,93	610,41
Cd	5,88	0,00	16,12	7,62	0,00	23,97	4,31	0,00	8,79	6,67	0,00	14,30	0,00	0,00	0,00	15,17	10,17	22,45	7,58	6,21	8,78
Cl	8227,47	5281,85	9624,03	9269,58	9010,91	9415,70	8832,29	8414,00	9479,59	7711,22	6601,02	8483,27	8337,27	7832,97	8754,82	8545,88	7115,90	9532,96	8263,55	5958,88	9492,17
Cr	13,48	0,00	21,57	6,72	0,00	13,71	0,00	0,00	0,00	12,80	0,00	26,93	0,00	0,00	0,00	6,91	0,00	14,50	9,81	0,00	22,01
Cu	24,92	21,78	27,18	25,27	17,38	35,46	25,66	23,40	27,60	28,82	22,55	36,99	28,94	19,48	39,73	24,80	7,56	34,64	28,69	23,50	33,59
Fe	21,37	0,00	39,13	17,80	14,85	22,97	23,54	13,24	35,86	29,23	17,54	47,51	24,53	15,85	34,50	16,23	0,00	27,42	20,99	17,31	27,70
K	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mn	8,50	0,00	12,73	14,36	0,00	22,54	0,00	0,00	0,00	5,99	0,00	13,96	0,00	0,00	0,00	17,13	15,02	19,75	7,97	0,00	21,03
Ni	0,00	0,00	0,00	7,77	0,00	15,17	9,64	5,19	11,76	12,83	0,00	20,94	18,27	16,92	20,96	0,00	0,00	0,00	6,22	0,00	14,51
Rb	0,00	0,00	0,00	4,81	0,00	8,40	7,90	6,14	9,96	0,00	0,00	0,00	4,47	0,00	8,51	5,99	0,00	10,10	4,03	0,00	6,38
Sc	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Se	3,42	0,00	9,36	5,83	0,00	10,99	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,42	0,00	9,70
Sn	7,38	0,00	17,00	0,00	0,00	0,00	6,44	0,00	14,33	3,50	0,00	7,91	8,95	0,00	19,98	19,60	17,17	21,24	12,62	0,00	23,75
Sr	2,88	0,00	8,34	7,42	0,00	11,64	8,21	3,45	12,01	2,24	0,00	5,10	8,81	8,20	9,60	7,15	0,00	11,73	8,86	7,38	10,27
Ti	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	15,00	0,00	32,38	0,00	0,00	0,00	20,84	0,00	31,74
V	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,29	0,00	13,17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Zn	12,53	0,00	20,74	5,07	0,00	14,26	11,47	4,57	16,67	9,24	0,00	13,89	9,79	6,35	13,85	7,12	4,94	10,61	6,36	0,00	15,67
Zr	0,00	0,00	0,00	4,43	0,00	7,81	0,00	0,00	0,00	2,78	0,00	7,00	2,98	0,00	4,89	3,67	0,00	7,49	2,56	0,00	3,45

Média aritmética obtida a partir de cinco amostras solubilizadas de agregado reciclado URM.

Min, valor mínimo obtido nos extratos solubilizados.

Máx, valor máximo obtido nos extratos solubilizados.

Quando comparados aos demais elementos solubilizados **Ca** e **Cl** mostram-se com concentração média muito superior. A solubilização do **Ca** foi mais expressiva nas menores dimensões de agregado reciclado. Observou-se uma tendência onde, quanto menor a dimensão do agregado reciclado maior a solubilização do **Ca**, Figura 37. No caso do **Ca**, as amostras URM solubilizaram mais do que as amostras SBC. Para o **Cl** percebe-se que nas maiores frações sua solubilização é sutilmente maior.

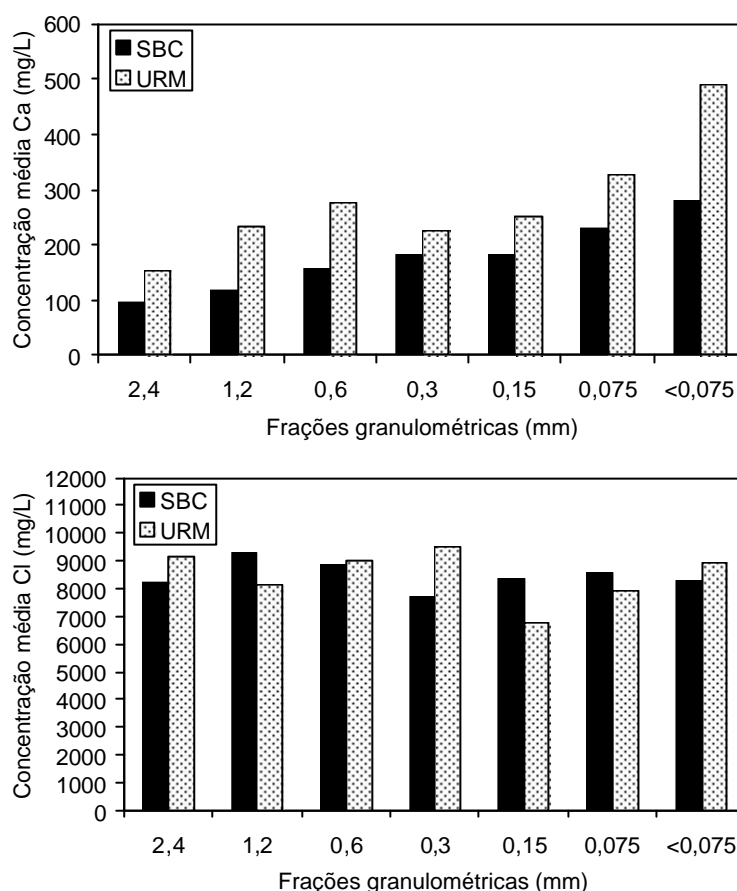


Figura 37 – Concentração média solubilizada do Ca e Cl em função das frações granulométricas nas amostras SBC e URM

Dos elementos inorgânicos considerados pela NBR 10004 – Resíduos sólidos: Classificação; Anexo G - para extrato solubilizado foram detectados **As**, **Cd**, **Cu**, **Cr**, **Fe**, **Mn**, **Se** e **Zn**. Os componentes inorgânicos detectados mostraram concentrações muito superiores aos limites recomendados pela norma, como pode ser visualizado nas Figuras 38 e 39.

Cu e **Fe** apresentaram as maiores concentrações tanto nos agregados reciclados SBC quanto nos URM. Não ocorreu grande variação de concentração do **Cu** nas diferentes frações avaliadas, porém as concentrações estão em torno de 10 a 15 vezes superiores aos limites recomendados pela NBR 10004 para solubilização. As concentrações médias solubilizadas do **Fe** mostram valores entre 40 e 90 vezes superiores ao limite recomendado em norma que é 0,3 mg/L.

Na solubilização, as menores concentrações médias são do **As**, sendo detectado o valor mínimo 1,60 mg/L e o valor máximo 7,60 mg/L. Cabe ressaltar que

o limite em extrato solubilizado para o arsênio (**As**) é de 0,01 mg/L, desta forma, na melhor das situações os valores observados são 160 vezes superiores ao estabelecido. Verificou-se que o **As** concentrou-se nas frações mais finas.

Nas amostras URM, percebe-se que os metais pesados **Cd** e **Cr** solubilizaram mais nas maiores faixas granulométricas. Na faixa granulométrica 2,40 mm, a concentração do **Cd** e **Cr** foram cerca de 2000 e 240 vezes superiores aos limites estabelecidos pela NBR 10004, respectivamente.

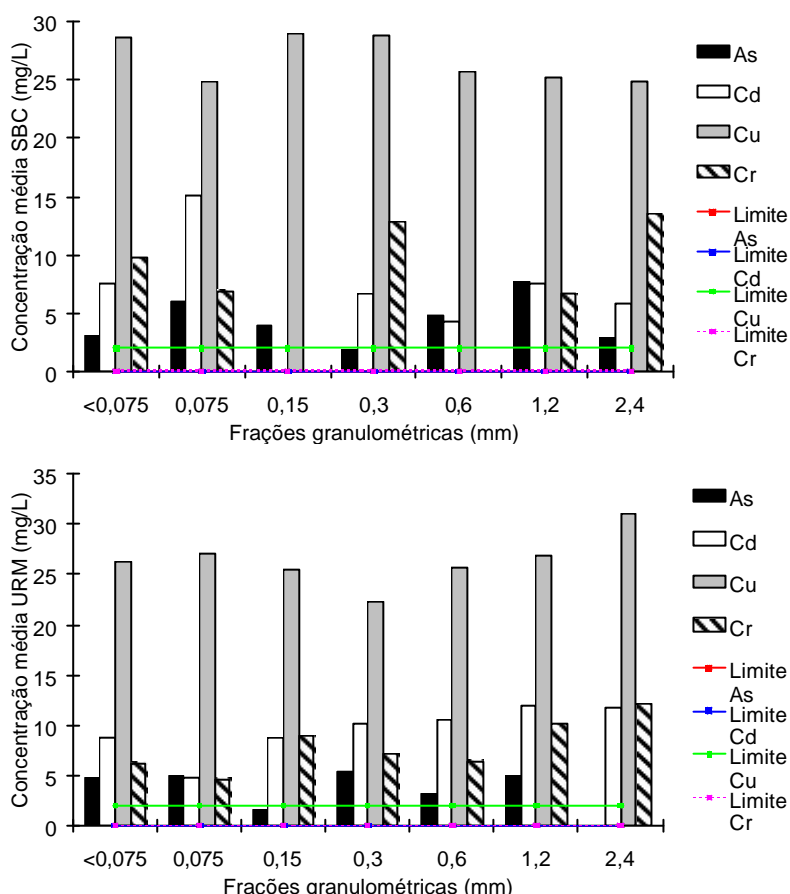


Figura 38 - Concentração média solubilizada SBC do As, Cd, Cu, Cr e limites NBR 10004

O **Mn** apresentou maior solubilização nas faixas granulométricas 0,075 e 1,20 mm, sendo de 120 a 170 vezes superiores ao limite que é 0,1 mg/L.

O **Se** foi detectado em três das sete frações SBC, já nos agregados reciclados URM foi bastante frequente. O limite de concentração estabelecido para o **Se** em norma é de 0,01 mg/L, os valores obtidos nas amostras URM foram bem superiores estando na faixa de 4 a 10 mg/L. Em geral, a concentração do **Zn** não sofreu grandes variações em função da granulometria. Comparando com os demais componentes inorgânicos, o zinco foi o que apresentou menor diferença entre o limite da norma e o detectado, nas amostras SBC mostrou valores até inferiores.

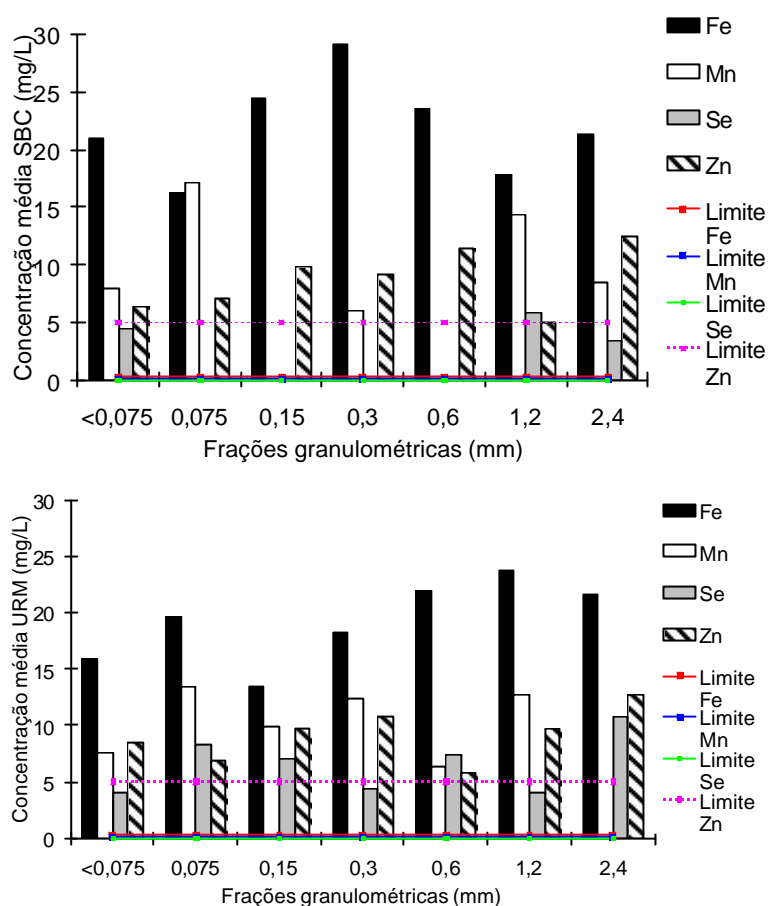


Figura 39 - Concentração média solubilizada URM do Fe, Mn, Se, Zn e limites NBR 10004

Na Figura 40 apresenta-se o valor do pH medido após os sete dias de repouso preconizados no ensaio de solubilização. Os agregados reciclados SBC mostraram valores de pH superiores aos URM. As frações mais finas mostraram valores de pH menores. Os valores de pH nas frações 0,3; 0,15; 0,075 e inferior a 0,075 mm foram praticamente constantes. Em ambos agregados reciclados na fração 0,6 mm ocorreu uma queda no valor de pH. O maior valor de pH foi determinado na fração 2,4 mm.

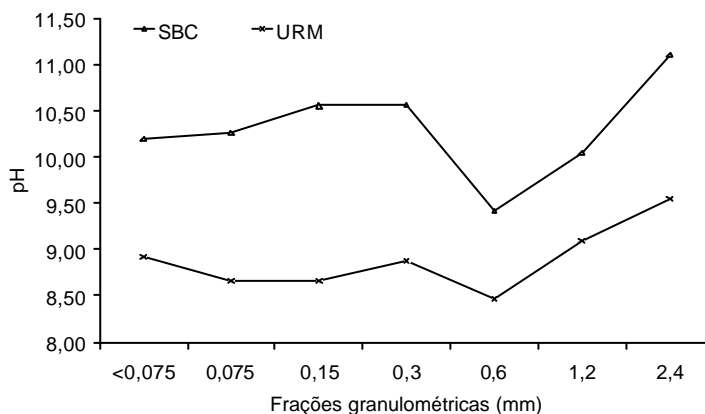


Figura 40 - pH em função da granulometria nas amostras SBC e URM

As concentrações médias dos elementos **As**, **Cd**, **Cu**, **Cr**, **Fe**, **Mn**, **Se** e **Zn** em função do pH estão representadas na Figura 41.

O **Cd** e **Mn** solubilizaram mais entre valores de pH 9,5 e 8,5. Essa faixa de pH foi obtida na solubilização dos agregados reciclados URM. Em geral, para esses metais as menores concentrações solubilizadas ocorreram em maiores valores de pH, superior a 10.

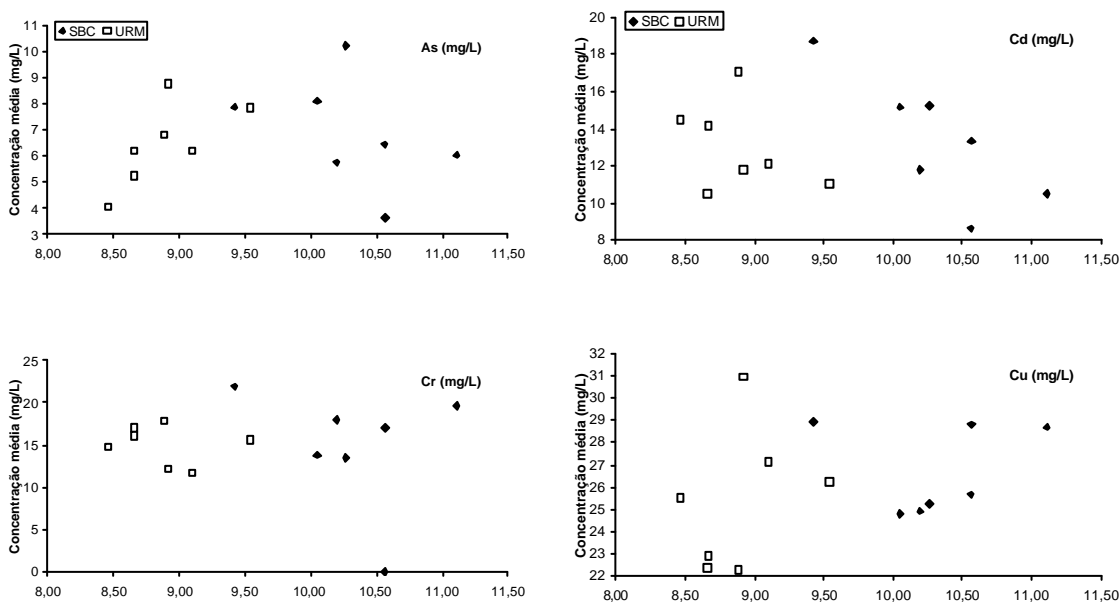
O **Se** solubilizou pouco em pH superior a 10. Sua solubilização mostrou-se mais freqüente em valores de pH superiores a 9,00.

A solubilização do **As** e **Fe** ocorreram em praticamente todas as faixas de pH medidas, entre 8,5 e 11. Entre as amostras SBC e URM não ocorrem grandes variações nas concentrações desses elementos.

A concentração do **Zn** aumentou em função do aumento do pH. Nos maiores valores de pH medidos nas amostras SBC e URM foram identificadas as maiores concentrações. Nas amostras URM, as maiores concentrações solubilizadas do **Cr** ocorreram em pH entre 9 e 9,50. Já nas amostras SBC o **Cr** solubilizou mais entre 10,50 e 11,50. Verificam-se alguns resultados contraditórios aos observados por Van Gerven *et al.* (2004), pesquisadores que comentam que **Cr** e **Zn** são menos solúveis em valores de pH entre 10 e 12.

O **Cu**, nos agregados reciclados URM, solubilizou em pH entre 8,50 e 9,00. Porém, as maiores concentrações nas amostras estiveram entre 10 e 10,50.

Não ocorreu uma tendência clara em relação aos valores de pH e a concentração. Em alguns casos a concentração média, em determinado valor de pH, foi baixa e em outros alta. Ocorreu grande variação no valor de pH em função ao elemento analisado, não é possível afirmar que em determinada faixa de pH um elemento solubiliza mais ou menos.



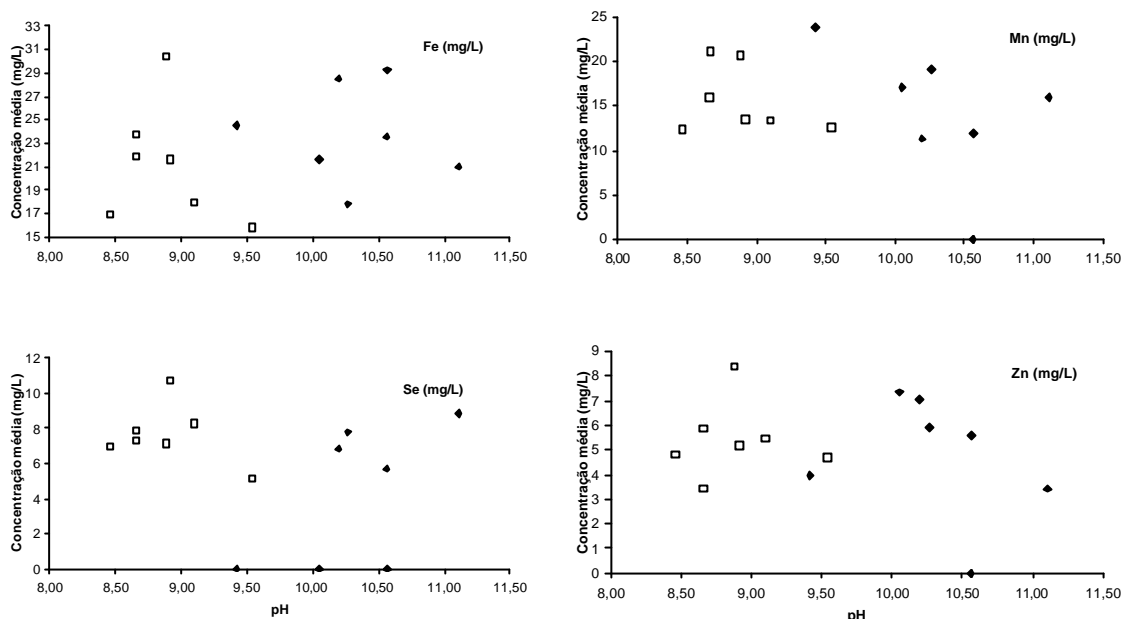


Figura 41 - Concentração média (mg/L) dos elementos considerados pela NBR 10004 para extrato solubilizado em função do pH

4.5 Comparativo lixiviação e solubilização

Elaborou-se um comparativo tendo como intuito associar o teor dos elementos identificados na análise química do agregado reciclado às concentrações obtidas após a execução dos ensaios de lixiviação e solubilização nas diferentes faixas granulométricas.

Foram considerados os agregados reciclados em todos os pontos de coleta localizados na central de reciclagem, estes que estão detalhados no item 3.2.1.

Alguns elementos, dependendo da faixa granulométrica, foram lixiviados das amostras, entretanto não foram identificados no agregado reciclado bruto. Destacam-se selênio e níquel na maioria das amostras e faixas granulométricas e nióbio nas amostras URM. Desta forma, estes elementos não foram representados nos gráficos, pois não é possível realizar comparativo.

Em todas as amostras de agregados reciclados o cloro mostrou concentração muito superior do esperado. Isso foi verificado tanto nas amostras SBC quanto URM que foram ecaminhadas para o ensaio de lixiviação. Uma das hipóteses apontadas é devido ao percentual de cloreto existente no ácido acético e ácido nítrico, conforme rótulos dos fabricantes. O ácido nítrico foi utilizado para a conservação das amostras. Já o ácido acético glacial, foi base para a solução de extração utilizada no ensaio de lixiviação. A água utilizada no ensaio, apesar de ser deionizada, é fornecida pela Companhia Catarinense de Água e Saneamento (Casan) e conforme os padrões da água adotados pela empresa o cloro tem valores permitidos entre 0,2 e 2 mg/L. Nos laudos mensais verificou-se que esse valor mantém-se próximo a 2 mg/L o que pode ter contribuído para os valores altos da concentração do cloro nos extratos lixiviados.

Nas Figuras 42 e 43 são apresentados os percentuais dos elementos lixiviados em relação ao agregado reciclado bruto nas amostras SBC e URM fracionadas.

O **Ca** que mostrou uma concentração superior aos demais elementos lixiviou em torno de 10 e 15% do total disponível no agregado reciclado, isso se verificou em todos os pontos de amostragem SBC e URM. **Fe** que apresentava alto percentual no agregado bruto lixiviou menos que 5%.

Zn, Cr e Cd lixiviou mais de 50% do teor detectado inicialmente no agregado reciclado, chegando em alguns casos a lixiviar 90%. Ocorreu grande variação do percentual lixiviado em função da faixa granulométrica do agregado reciclado. No ponto de coleta SBC-A2, por exemplo, na fração fina o **Zn** lixiviou parcela inferior a 50%, já nas faixas granulométricas 2,4 e 1,2 mm o percentual lixiviado esteve próximo a 100%.

O **Cd** mostrou maior lixiviação nas amostras URM. Nas amostras SBC sua lixiviação foi específica em alguns pontos de amostragem e em determinadas faixas granulométricas.

Em todos os pontos de amostragem SBC nas faixas granulométricas avaliadas, o **Cu**, lixiviou praticamente em totalidade, chegando a 100% na amostra SBC-A4. Isto se verificou também na amostra URM-A3, entretanto nas demais amostras URM ocorreu lixiviação em algumas faixas granulométricas. Em alguns casos a lixiviação do **Cu** foi superior a 100%, fato este que deve ser aprofundado a fim de investigar as hipóteses para esta ocorrência. Este fato também ocorreu na solubilização quando os resultados foram comparados ao teor disponível de cada elemento no agregado reciclado bruto para solubilizar.

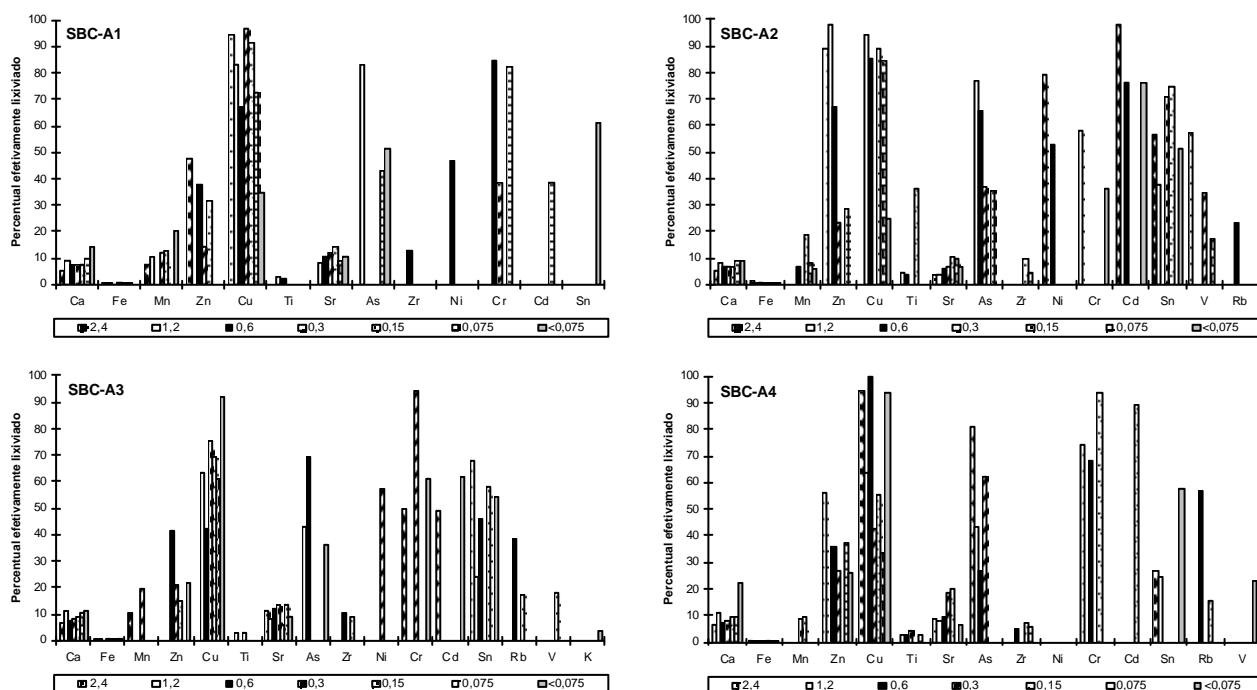


Figura 42 – Percentual lixiviado do agregado reciclado bruto nos distintos pontos de coleta SBC

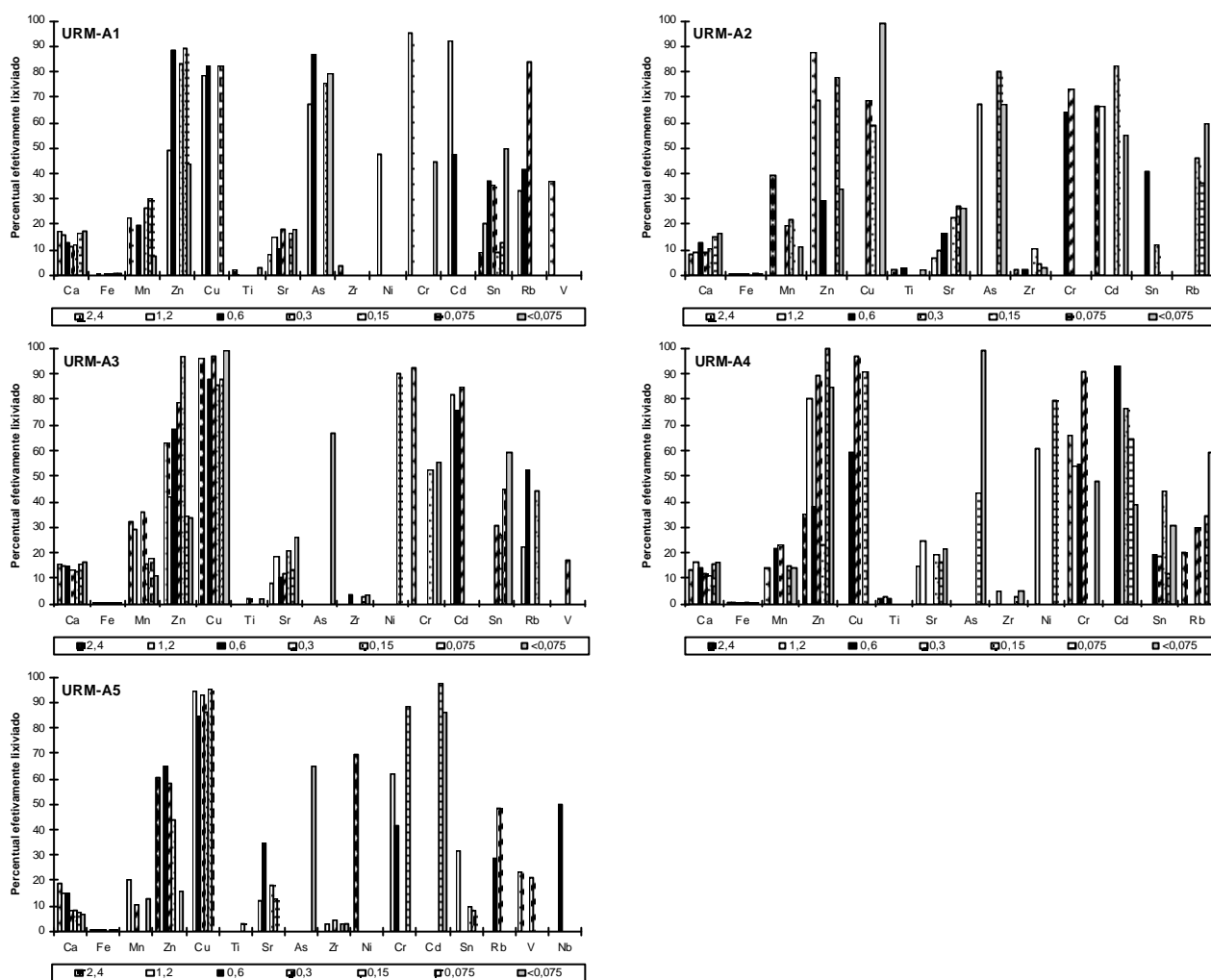


Figura 43 - Percentual lixiviado do agregado reciclado bruto nos distintos pontos de coleta URM

Em várias das faixas granulométricas analisadas ocorreu solubilização superior a 100% para **Cd**, **Cr**, **Cu**, **As**, **Zn**, entre outros elementos. Cabe ressaltar que no ensaio de solubilização utiliza-se apenas água deionizada, onde a amostra de agregado reciclado é mantida estática durante 7 dias, não sendo plausível uma possível contaminação com produtos utilizados. Os resultados do comparativo realizado com os dados da solubilização, naquelas amostras e frações granulométricas que mostraram percentual máximo de 100% estão apresentadas na Figura 44 e 45.

O percentual solubilizado do **Ca** em todas as amostras foi inferior a 20%. O **Fe**, em relação ao teor disponível, solubilizou em torno de 3%. Os demais elementos variaram em função da amostra, do ponto de amostragem e da faixa granulométrica avaliada.

Da mesma forma do que ocorreu na lixiviação o percentual de **Cl** solubilizado foi superior ao disponível na amostra bruta. As hipóteses para isto são as mesmas apontadas anteriormente com exceção do ácido acético que não foi utilizado no ensaio de solubilização.

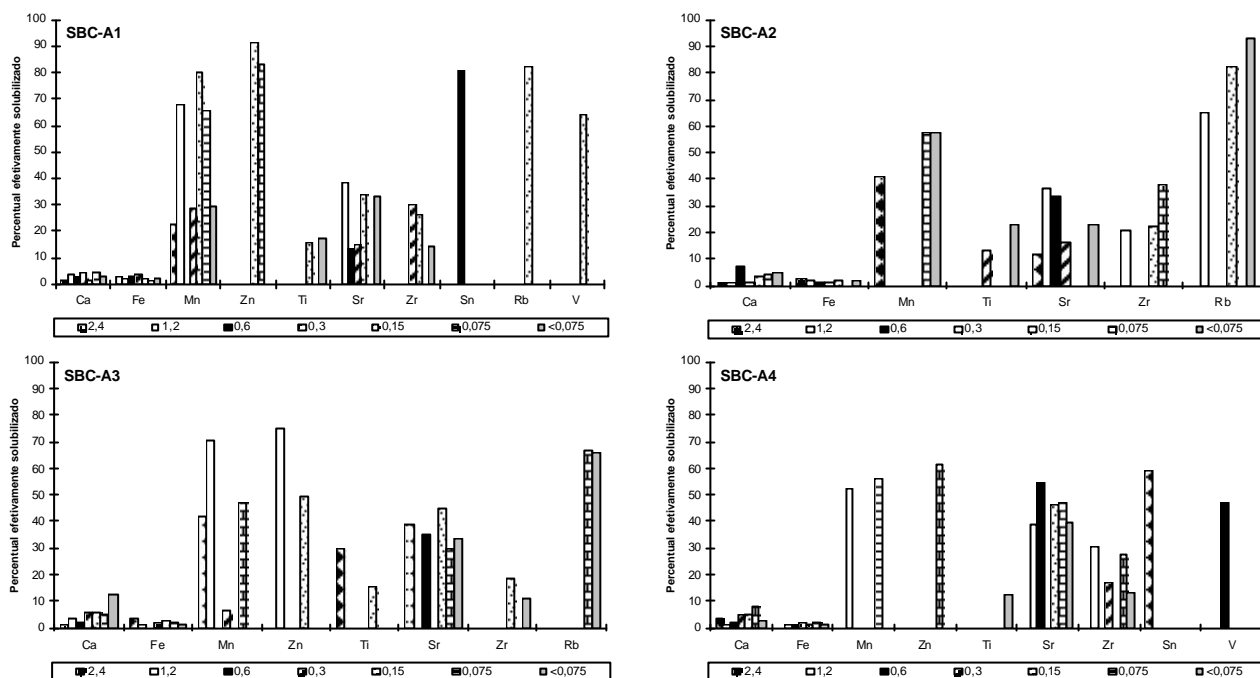


Figura 44 - Percentual solubilizado do agregado reciclado bruto nos distintos pontos de coleta SBC

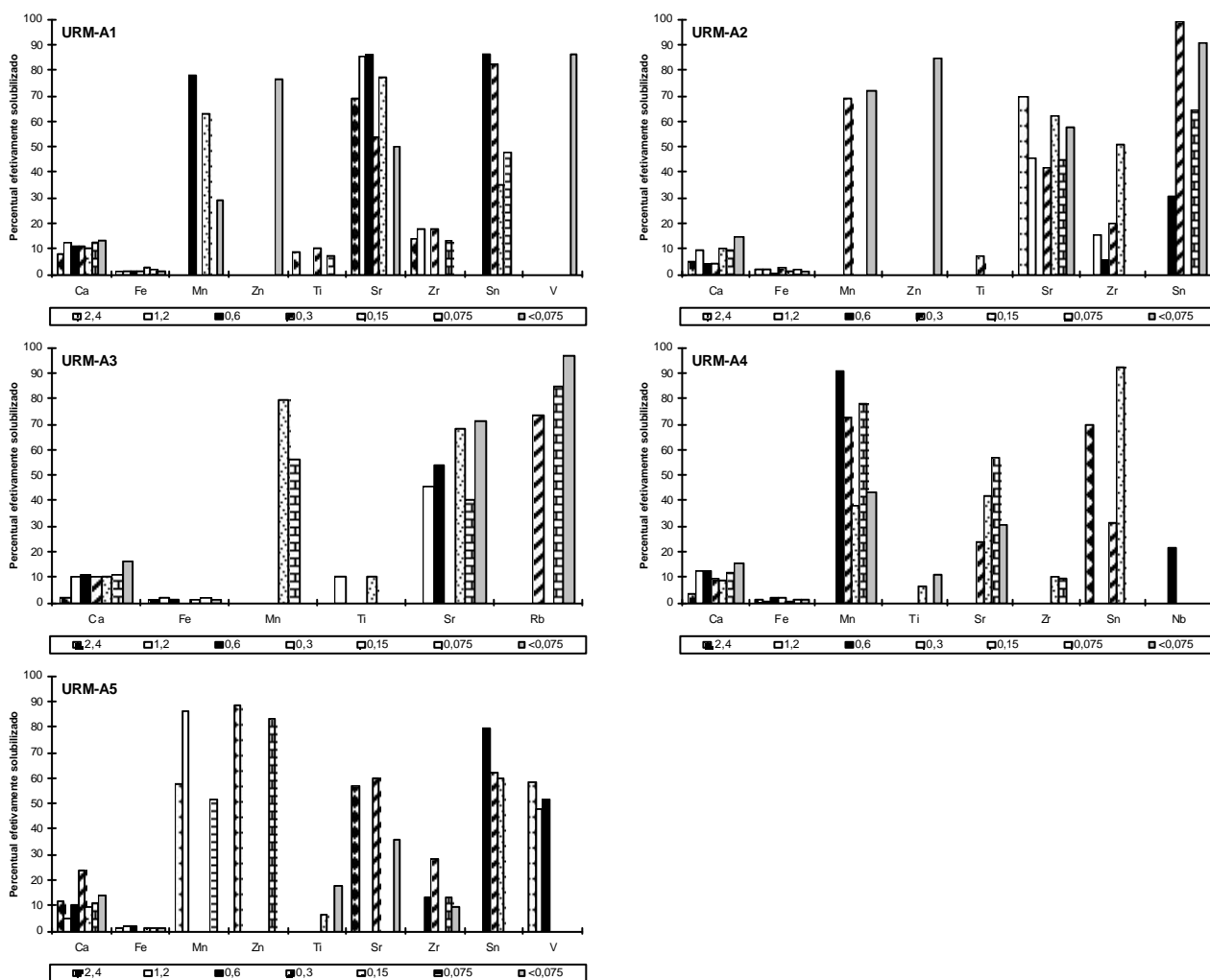


Figura 45 - Percentual solubilizado do agregado reciclado bruto nos distintos pontos de coleta URM

4.6 Lixiviação do material monolítico produzido com agregado reciclado

4.6.1 Elementos lixiviados das argamassas produzidas com agregado reciclado

4.6.1.1 Resultados obtidos ao longo dos 64 dias do ensaio de tanque

Os elementos lixiviados das argamassas no ensaio de tanque são apresentados no Anexo 1. Os dados referem-se às oito etapas preconizadas no ensaio de tanque, realizado em 18 argamassas elaboradas a partir de 6 faixas granulométricas dos agregados reciclados.

Nas Tabelas 31, 32 e 33 são apresentados os resultados da lixiviação ao longo dos 64 dias de ensaio das argamassas REF, SBC e URM nas seis faixas granulométricas (inferior a 0,15; 0,15; 0,30; 0,60; 1,20 e 2,40) e idades de 3, 7 e 28 dias.

Tabela 31 – Lixiviação dos elementos (mg/L) ao longo dos 64 dias nas argamassas REF, SBC e URM nas faixas granulométricas inferior a 0,15 e 0,15 mm

	REF<0,15			SBC <0,15			URM <0,15		
	3d	7d	28d	3d	7d	28d	3d	7d	28d
As	54,581	32,680	21,603	24,787	48,735	31,692	46,211	24,417	39,085
Ca	3326,554	3969,794	3979,027	1798,978	2503,755	4161,504	1152,453	1655,843	1590,385
Cd	83,744	65,443	106,149	76,412	77,335	72,886	89,588	92,766	82,697
Cl	33943,417	50774,923	36559,962	37604,514	48843,064	36731,260	29608,543	48287,863	39713,199
Cr	80,546	75,184	107,820	49,135	77,136	54,632	81,970	77,650	32,725
Cu	208,210	177,632	194,684	192,336	183,652	207,272	232,285	221,915	205,053
Fe	208,206	97,445	167,522	172,699	142,105	137,489	132,239	130,454	142,969
K	97,912	210,654	148,743	167,206	286,876	113,964	322,505	ND	139,358
Mn	61,653	56,094	62,560	89,563	41,741	73,893	44,688	86,165	78,231
Nb	29,947	11,047	34,490	22,112	21,670	25,973	23,988	23,624	29,316
Ni	71,198	21,068	50,599	59,899	33,582	51,551	47,385	54,997	60,990
Rb	34,324	32,579	36,843	44,483	42,937	52,852	27,883	43,735	52,628
Se	78,469	38,509	40,805	35,813	60,914	72,054	64,613	34,491	39,241
Sn	101,496	87,541	76,974	91,213	105,570	102,926	91,694	86,264	104,176
Sr	36,126	39,683	51,068	36,170	39,357	39,184	32,510	39,062	21,205
Ti	37,514	47,317	68,091	31,699	55,349	44,280	74,951	ND	27,809
V	13,333	26,588	15,088	43,103	16,709	16,182	40,859	31,419	27,805
Y	36,396	44,078	49,742	42,108	26,927	32,906	28,803	28,440	40,894
Zr	24,145	39,034	33,051	16,317	19,629	25,580	28,653	14,494	18,729
Zn	65,981	110,829	79,488	81,712	95,406	112,426	110,145	93,700	86,615

	REF 0,15			SBC 0,15			URM 0,15		
	3d	7d	28d	3d	7d	28d	3d	7d	28d
As	39,291	33,167	36,333	24,787	48,735	31,692	46,211	24,417	39,085
Ca	1647,550	2676,078	3566,833	1798,978	2503,755	4161,504	1152,453	1655,843	1590,385
Cd	84,853	106,188	26,958	76,412	77,335	72,886	89,588	92,766	82,697
Cl	36435,400	46579,658	43792,751	37604,514	48843,064	36731,260	29608,543	48287,863	39713,199
Cr	94,297	46,460	59,996	49,135	77,136	54,632	81,970	77,650	32,725
Cu	193,069	168,493	180,623	192,336	183,652	207,272	232,285	221,915	205,053
Fe	139,008	129,732	157,505	172,699	142,105	137,489	132,239	130,454	142,969
K	213,481	0,000	0,000	167,206	286,876	113,964	322,505	0,000	139,358
Mn	61,521	24,881	60,611	89,563	41,741	73,893	44,688	86,165	78,231
Nb	22,011	33,528	25,142	22,112	21,670	25,973	23,988	23,624	29,316
Ni	57,561	39,997	44,575	59,899	33,582	51,551	47,385	54,997	60,990
Rb	29,634	39,133	23,499	44,483	42,937	52,852	27,883	43,735	52,628
Se	33,465	47,432	58,357	35,813	60,914	72,054	64,613	34,491	39,241
Sn	106,876	59,817	68,820	91,213	105,570	102,926	91,694	86,264	104,176
Sr	52,387	36,719	56,856	36,170	39,357	39,184	32,510	39,062	21,205
Ti	0,000	24,371	30,255	31,699	55,349	44,280	74,951	0,000	27,809
V	14,932	50,590	30,763	43,103	16,709	16,182	40,859	31,419	27,805
Y	28,193	39,018	36,441	42,108	26,927	32,906	28,803	28,440	40,894
Zr	38,786	104,198	20,518	16,317	19,629	25,580	28,653	14,494	18,729
Zn	112,097	37,206	91,220	81,712	95,406	112,426	110,145	93,700	86,615

ND significa não detectado

Tabela 32 - Lixiviação dos elementos (mg/L) ao longo dos 64 dias nas argamassas REF, SBC e URM nas faixas granulométricas 0,30 e 0,60 mm

	REF 0,30			SBC 0,30			URM 0,30		
	3d	7d	28d	3d	7d	28d	3d	7d	28d
As	34,649	25,604	42,472	42,669	34,020	36,129	57,759	13,189	57,663
Ca	2094,532	1993,780	2689,658	1202,314	2464,246	1605,474	1016,782	1396,464	2008,796
Cd	84,527	84,958	59,619	112,151	105,054	80,247	84,655	66,193	85,352
Cl	32787,421	44700,326	33614,816	30542,856	46233,787	45582,379	17626,615	48312,996	40788,870
Cr	72,312	58,308	77,593	92,997	46,042	70,601	24,331	60,420	55,372
Cu	216,208	170,263	194,094	215,752	196,395	214,356	226,628	227,336	209,225
Fe	128,923	92,594	195,547	153,798	79,555	169,391	137,723	138,116	137,273
K	178,226	301,987	173,662	354,710	322,050	410,075	227,747	232,858	476,098
Mn	61,045	22,727	59,248	29,215	56,147	56,410	62,671	27,398	83,667
Nb	23,017	24,036	17,701	20,156	10,580	25,284	13,561	28,879	19,071
Ni	46,099	48,495	36,583	33,664	49,522	47,147	57,544	60,539	50,088
Rb	35,731	33,529	51,873	43,850	32,896	37,633	27,292	41,818	40,486
Se	68,656	57,575	57,845	51,350	50,703	59,452	55,207	40,170	77,263
Sn	65,698	79,718	43,927	83,638	60,393	83,595	43,148	83,987	72,086
Sr	42,843	52,328	33,542	49,401	50,134	51,025	23,395	31,389	37,985
Ti	72,810	25,893	54,955	72,394	ND	83,169	67,184	128,331	36,739
V	62,717	32,934	ND	33,015	ND	40,211	23,052	ND	14,064
Y	33,363	39,268	31,183	27,350	37,571	31,774	22,420	43,212	60,333
Zr	19,214	27,696	7,442	23,035	21,878	21,956	16,422	24,137	31,437
Zn	82,027	54,364	107,402	78,994	79,972	122,596	83,863	100,748	81,201

	REF 0,60			SBC 0,60			URM 0,60		
	3d	7d	28d	3d	7d	28d	3d	7d	28d
As	59,326	40,794	55,605	34,251	17,413	33,242	33,456	37,220	51,792
Ca	2122,745	2146,818	2136,747	2454,458	2190,216	2938,620	2089,769	1977,083	2253,461
Cd	81,839	79,932	121,939	109,910	68,952	94,286	59,844	80,159	75,044
Cl	29793,684	47858,122	37031,270	33898,562	49521,543	40069,704	25064,918	45888,472	42152,400
Cr	52,365	93,861	131,303	115,485	35,418	85,226	58,704	60,276	58,134
Cu	219,982	186,677	199,715	177,776	217,792	199,856	195,389	207,382	200,786
Fe	142,592	147,705	158,574	145,344	162,117	195,223	143,140	111,945	122,183
K	222,306	242,358	379,953	324,615	ND	343,088	129,520	366,344	286,818
Mn	14,021	37,761	84,097	25,434	72,676	68,305	69,449	118,756	70,473
Nb	20,070	18,079	26,704	17,254	27,683	30,138	23,055	12,955	15,903
Ni	43,724	43,814	88,131	50,807	32,956	22,725	60,741	39,446	48,392
Rb	13,646	30,294	41,826	28,634	42,585	28,192	31,493	39,263	46,138
Se	42,238	29,832	59,922	39,399	53,579	49,965	51,301	49,671	80,586
Sn	66,930	68,827	67,723	72,079	77,117	112,323	98,087	63,365	84,703
Sr	47,995	24,267	26,447	ND	24,136	57,488	40,228	49,728	55,783
Ti	41,153	25,289	17,753	31,475	73,516	49,515	48,032	67,399	87,478
V	18,986	39,179	51,213	27,195	22,923	25,984	39,344	14,810	12,691
Y	56,066	40,500	40,840	41,886	42,138	48,469	50,014	30,464	36,976
Zr	13,148	28,843	20,709	22,715	42,103	28,219	19,835	23,752	29,481
Zn	83,760	118,515	100,063	89,965	80,916	123,481	82,812	67,122	82,795

ND significa não detectado

Tabela 33 - Lixiviação dos elementos (mg/L) ao longo dos 64 dias nas argamassas REF, SBC e URM nas faixas granulométricas 1,20 e 2,40 mm

	REF 1,20			SBC 1,20			URM 1,20		
	3d	7d	28d	3d	7d	28d	3d	7d	28d
As	31,508	36,422	27,964	25,406	42,668	40,683	25,979	22,592	45,046
Ca	2208,637	3359,201	3114,398	2577,691	2983,360	2871,991	2363,480	2848,999	2537,726
Cd	72,724	49,727	87,120	63,832	47,983	82,074	72,788	56,515	92,330
Cl	18145,345	37312,362	38866,407	33294,214	42281,373	41048,937	41485,911	45491,328	44344,497
Cr	137,441	111,162	54,778	67,587	19,696	36,058	77,173	87,849	126,058
Cu	220,957	178,210	231,798	135,897	181,653	182,941	217,842	178,634	190,040
Fe	123,793	131,568	116,142	158,556	191,089	144,182	115,425	144,508	165,162
K	ND	620,735	ND	225,681	549,641	249,644	72,901	232,134	233,318
Mn	85,953	42,068	53,577	56,909	61,544	39,371	35,376	26,371	33,723
Nb	19,043	24,245	27,846	21,740	12,217	20,263	32,012	31,598	10,785
Ni	53,009	42,155	56,516	35,657	31,536	19,805	38,460	28,362	38,755
Rb	41,962	28,313	26,958	22,264	28,542	46,619	28,570	20,195	46,830
Se	29,665	56,641	61,232	69,940	30,165	38,462	66,538	48,805	44,153
Sn	104,948	37,111	90,895	35,161	61,728	99,200	134,924	88,684	109,168
Sr	40,251	36,150	29,089	38,520	47,249	31,674	40,149	33,960	33,048
Ti	29,447	ND	18,682	53,311	33,409	81,020	ND	19,815	53,244
V	26,000	26,532	30,458	33,663	33,392	ND	27,005	40,075	26,924
Y	40,325	29,437	28,305	31,103	38,771	32,746	27,378	42,372	41,867
Zr	24,694	27,663	36,743	20,237	24,196	21,255	30,369	14,890	13,213
Zn	95,033	75,833	75,732	96,412	77,192	85,328	79,008	90,316	41,506

	REF 2,40			SBC 2,40			URM 2,40		
	3d	7d	28d	3d	7d	28d	3d	7d	28d
As	39,504	35,292	28,756	54,181	47,067	21,620	38,999	43,567	32,548
Ca	2577,442	2651,549	3712,727	1623,150	2751,866	2612,193	2157,537	4250,877	2223,360
Cd	85,002	99,125	62,339	83,733	51,601	61,271	113,198	111,298	128,364
Cl	37115,360	42644,589	39899,462	38304,069	35539,309	49848,908	34447,640	35842,003	52236,765
Cr	147,442	33,078	47,086	12,526	63,355	71,191	74,568	79,502	67,180
Cu	193,664	198,601	167,811	206,259	191,933	179,304	212,899	177,227	207,796
Fe	132,869	181,526	99,500	148,493	92,928	99,005	107,752	124,998	154,782
K	305,992	291,999	198,651	245,922	506,368	165,329	251,818	195,104	310,017
Mn	81,144	32,992	91,847	56,041	21,869	91,280	101,951	77,578	66,583
Nb	10,246	23,689	40,700	23,668	18,443	30,569	29,435	20,269	14,456
Ni	44,431	22,741	49,337	73,434	68,702	44,602	28,724	26,462	40,895
Rb	46,828	51,632	54,964	51,286	46,905	34,013	54,086	33,262	51,682
Se	34,281	62,536	59,248	60,657	37,139	64,526	49,848	73,623	26,095
Sn	92,105	98,345	92,880	80,826	72,840	123,798	122,084	98,175	92,695
Sr	53,869	52,869	65,702	29,529	48,970	45,568	33,643	43,194	50,850
Ti	67,386	19,129	58,925	61,497	60,031	129,974	25,612	60,768	36,718
V	71,681	20,272	59,254	ND	17,806	ND	ND	14,879	46,844
Y	46,886	32,194	22,798	44,054	19,899	38,799	30,583	42,261	52,845
Zr	23,618	36,632	10,149	29,068	39,573	16,158	16,563	9,105	15,374
Zn	99,886	86,906	74,025	96,456	96,737	79,282	99,696	98,672	93,833

ND significa não detectado

Conforme Van der Sloot (2000) os resultados dos ensaios de lixiviação podem ser expressos tanto como concentração lixiviada em mg/L ou constituinte liberado sendo em mg/Kg. Comenta ainda que a decisão de escolha deve levar considerar o tipo de comparativo que se deseja realizar.

Nesse sentido, tendo como finalidade abranger a possibilidade de comparação dos resultados, nas Tabelas 34, 35 e 36 são apresentados os dados em mg/Kg. Para isto utilizou-se a seguinte expressão:

$$C_m = \frac{C_e \cdot 10^{-3} \cdot V_u}{M_s} \cdot DF \quad (\text{equação 1})$$

sendo:

C_m = concentração do elemento (mg/g)

C_e = concentração medida (ppb)

V_u = volume filtrado (L)

M_s = massa da amostra (g)

DF = fator de diluição (%)

O fator de diluição foi considerado igual a um.

Tabela 34 - Lixiviação dos elementos (mg/Kg) ao longo dos 64 dias nas argamassas REF, SBC e URM nas faixas granulométricas inferior à 0,15 e 0,15 mm

	REF<0,15			SBC<0,15			URM<0,15		
	3d	7d	28d	3d	7d	28d	3d	7d	28d
As	143,634	85,806	74,601	90,098	149,785	82,186	45,442	101,404	84,604
Ca	8754,089	10423,254	10933,358	4508,249	3798,637	4710,572	582,356	3702,123	3742,245
Cd	220,379	171,830	271,721	229,986	153,692	233,484	144,924	209,142	23,748
Cl	89324,782	133316,721	103436,169	124956,012	131122,110	113291,147	66575,700	110254,664	89744,795
Cr	211,963	197,406	264,243	212,439	284,603	280,434	83,962	103,449	243,612
Cu	547,921	466,398	535,301	548,171	775,001	555,995	352,445	429,048	529,171
Fe	547,911	255,856	436,954	495,662	327,593	619,595	359,178	201,212	373,135
K	257,663	553,102	664,670	396,947	992,345	1184,399	264,325	1114,439	844,343
Mn	162,245	147,283	112,842	150,335	181,358	233,481	66,577	53,063	55,285
Nb	78,808	29,005	95,935	91,259	77,206	46,645	46,079	32,442	52,298
Ni	187,363	55,317	163,005	194,322	17,091	157,743	114,627	91,084	146,408
Rb	90,326	85,541	114,850	130,712	102,467	149,393	64,149	66,729	107,042
Se	206,497	101,111	114,130	180,247	149,529	150,104	44,978	17,025	179,692
Sn	267,095	229,851	273,977	65,374	146,016	255,421	114,217	94,080	140,994
Sr	95,068	104,193	129,762	99,466	111,422	112,766	54,687	75,462	118,096
Ti	98,721	124,237	183,487	ND	124,521	139,467	112,889	82,531	174,326
V	35,087	69,811	0,000	49,796	ND	ND	36,151	ND	166,754
Y	95,779	115,733	116,871	51,593	148,027	115,302	96,950	40,299	87,619
Zr	63,539	102,489	90,489	86,125	61,171	46,808	10,672	31,856	78,795
Zn	173,634	290,997	188,122	312,427	184,953	254,449	177,069	234,240	277,913

	REF 0,15			SBC 0,15			URM 0,15		
	3d	7d	28d	3d	7d	28d	3d	7d	28d
As	101,335	86,747	96,187	68,452	137,584	89,156	136,322	71,568	114,982
Ca	4249,172	6999,141	9442,702	4968,051	7068,386	11707,088	3399,723	4853,398	4678,678
Cd	218,843	277,729	71,368	211,019	218,326	205,042	264,284	271,904	243,282
Cl	93970,002	121826,649	115935,308	103848,496	137889,550	103331,896	87344,861	141535,298	116830,372
Cr	243,200	121,514	158,831	135,691	217,764	153,690	241,811	227,598	96,272
Cu	497,941	440,685	478,175	531,154	518,471	583,095	685,238	650,449	603,236
Fe	358,513	339,307	416,973	476,925	401,179	386,782	390,104	382,370	420,594
K	550,586	ND	ND	461,756	809,884	320,602	951,386	0,000	409,971
Mn	158,668	65,075	160,459	247,337	117,840	207,875	131,829	252,556	230,144
Nb	56,768	87,691	66,560	61,064	61,177	73,067	70,764	69,244	86,243
Ni	148,455	104,610	118,006	165,417	94,806	145,023	139,785	161,200	179,424
Rb	76,429	102,350	62,210	122,844	121,216	148,683	82,255	128,191	154,824
Se	86,309	124,056	154,492	98,901	171,967	202,701	190,608	101,096	115,441
Sn	275,642	156,448	182,192	251,894	298,036	289,550	270,496	252,846	306,470
Sr	135,111	96,037	150,518	99,887	111,109	110,232	95,904	114,494	62,382
Ti	ND	63,741	80,096	87,540	156,257	124,568	221,105	ND	81,810
V	38,511	132,315	81,441	119,033	47,171	45,523	120,534	92,091	81,798
Y	72,712	102,050	96,473	116,285	76,018	92,571	84,969	83,360	120,304
Zr	100,032	272,524	54,319	45,061	55,415	71,961	84,526	42,483	55,098
Zn	289,108	97,310	241,492	225,656	269,342	316,275	324,926	274,642	254,809

ND significa não detectado

Tabela 35 - Lixiviação dos elementos (mg/Kg) ao longo dos 64 dias nas argamassas REF, SBC e URM nas faixas granulométricas 0,30 e 0,60 mm

	REF0,30			SBC 0,30			URM 0,30		
	3d	7d	28d	3d	7d	28d	3d	7d	28d
As	93,705	69,449	109,605	117,606	78,798	101,415	168,332	37,818	167,861
Ca	5664,485	5408,007	6941,053	3313,871	4202,126	4506,594	2963,299	4004,198	5847,757
Cd	228,596	230,443	153,855	309,116	252,527	225,255	246,718	189,801	248,466
Cl	88670,820	121246,911	86747,912	84183,582	118640,691	127950,538	51370,827	138531,888	118739,490
Cr	195,562	158,157	200,240	256,322	125,311	198,178	70,910	173,247	161,192
Cu	584,716	461,828	500,888	594,665	473,407	601,701	660,482	651,859	609,070
Fe	348,661	251,156	504,637	423,905	152,231	475,484	401,379	396,032	399,612
K	481,997	819,121	448,160	977,668	452,581	1151,088	663,744	667,693	1385,957
Mn	165,091	61,646	152,898	80,524	152,813	158,344	182,648	78,561	243,561
Nb	62,248	65,196	45,680	55,555	21,488	70,973	39,522	82,807	55,517
Ni	124,671	131,540	94,408	92,786	80,689	132,342	167,706	173,589	145,810
Rb	96,631	90,945	133,866	120,861	67,955	105,636	79,540	119,908	117,858
Se	185,674	156,169	149,277	141,533	117,247	166,883	160,895	115,183	224,918
Sn	177,675	216,230	113,360	230,527	125,583	234,653	125,750	240,823	209,848
Sr	115,865	141,937	86,560	136,161	108,374	143,228	68,182	90,004	110,577
Ti	196,909	70,233	141,819	199,536	ND	233,457	195,800	367,974	106,950
V	169,613	89,331	0,000	90,997	ND	112,873	67,183	ND	40,941
Y	90,227	106,512	80,472	75,383	75,317	89,190	65,341	123,905	175,634
Zr	51,963	75,124	19,205	63,490	41,437	61,631	47,860	69,210	91,515
Zn	221,835	147,459	277,166	217,727	169,848	344,129	244,409	288,883	236,382

	REF 0,60			SBC 0,60			URM 0,60		
	3d	7d	28d	3d	7d	28d	3d	7d	28d
As	144,367	102,445	141,641	92,297	47,172	90,841	87,146	99,109	134,607
Ca	5165,615	5391,264	5442,858	6614,118	5933,284	8030,388	5443,436	5264,544	5856,711
Cd	199,152	200,732	310,611	296,179	186,791	257,656	155,882	213,446	195,038
Cl	72501,741	120185,199	94328,409	91347,704	134153,598	109498,764	65289,164	122191,063	109553,446
Cr	127,428	235,711	334,463	311,202	95,947	232,898	152,912	160,502	151,089
Cu	535,317	468,798	508,727	479,060	589,997	546,148	508,950	552,213	521,840
Fe	346,992	370,929	403,930	391,664	439,174	533,487	372,851	298,085	317,552
K	540,973	608,629	967,840	874,752	ND	937,559	337,374	975,495	745,436
Mn	34,120	94,828	214,217	68,538	196,879	186,658	180,901	316,222	183,158
Nb	48,840	45,401	68,022	46,495	74,993	82,358	60,054	34,496	41,332
Ni	106,401	110,029	224,493	136,911	89,278	62,101	158,218	105,036	125,770
Rb	33,207	76,077	106,542	77,161	115,363	77,040	82,033	104,549	119,912
Se	102,784	74,917	152,637	106,170	145,145	136,540	133,629	132,263	209,442
Sn	162,871	172,844	172,508	194,234	208,910	306,946	255,497	168,727	220,142
Sr	116,794	60,941	67,367	ND	65,384	157,098	104,786	132,415	144,979
Ti	100,144	63,508	45,222	84,817	199,154	135,310	125,114	179,469	227,354
V	46,202	98,389	130,453	73,283	62,098	71,007	102,483	39,436	32,984
Y	136,434	101,707	104,030	112,872	114,152	132,452	130,277	81,119	96,100
Zr	31,995	72,433	52,751	61,211	114,057	77,114	51,666	63,246	76,621
Zn	203,827	297,624	254,887	242,432	219,201	337,437	215,709	178,731	215,183

ND significa não detectado

Tabela 36 - Lixiviação dos elementos (mg/Kg) ao longo dos 64 dias nas argamassas REF, SBC e URM nas faixas granulométricas 1,20 e 2,40 mm

	REF 1,20			SBC 1,20			URM 1,20		
	3d	7d	28d	3d	7d	28d	3d	7d	28d
As	72,406	84,426	68,322	66,043	57,433	132,215	74,242	64,462	132,215
Ca	5075,503	7786,630	7609,142	6700,740	7242,738	7448,496	6754,308	8129,110	7448,496
Cd	167,122	115,267	212,853	165,932	143,673	270,998	208,012	161,255	270,998
Cl	41698,459	86490,082	94958,963	86548,729	115648,262	130155,827	118557,638	129801,382	130155,827
Cr	315,843	257,674	133,834	175,693	223,330	369,994	220,544	250,661	369,994
Cu	507,765	413,091	566,332	353,266	454,124	557,788	622,545	509,700	557,788
Fe	284,479	304,975	283,760	412,168	367,369	484,768	329,859	412,328	484,768
K	ND	1438,864	ND	586,661	590,132	684,813	208,335	662,353	684,813
Mn	197,522	97,514	130,900	147,936	67,040	98,981	101,097	75,245	98,981
Nb	43,761	56,200	68,034	56,513	80,329	31,655	91,483	90,159	31,655
Ni	121,816	97,715	138,081	92,691	72,102	113,750	109,910	80,926	113,750
Rb	96,430	65,630	65,864	57,876	51,340	137,451	81,647	57,623	137,451
Se	68,171	131,294	149,603	181,810	124,072	129,594	190,151	139,256	129,594
Sn	241,173	86,023	222,076	91,401	225,453	320,420	385,583	253,044	320,420
Sr	92,498	83,796	71,071	100,133	86,333	96,999	114,737	96,899	96,999
Ti	67,670	ND	45,644	138,583	50,374	156,277	ND	56,539	156,277
V	59,749	61,501	74,415	87,507	101,879	79,025	77,174	114,347	79,025
Y	92,668	68,235	69,155	80,853	107,718	122,884	78,240	120,901	122,884
Zr	56,747	64,123	89,771	52,606	37,853	38,782	86,788	42,486	38,782
Zn	218,388	175,781	185,030	250,624	229,602	121,825	225,788	257,701	121,825

	REF 2,40			SBC 2,40			URM 2,40		
	3d	7d	28d	3d	7d	28d	3d	7d	28d
As	96,775	86,556	71,890	148,282	129,868	60,147	105,827	113,046	88,755
Ca	6314,116	6503,128	9281,818	4442,232	7592,991	7267,131	5854,669	11030,048	6062,848
Cd	208,235	243,112	155,848	229,160	142,378	170,456	307,173	288,793	350,034
Cl	90923,753	104589,143	99748,655	104830,465	98060,607	138679,857	93476,742	93001,751	142443,671
Cr	361,198	81,126	117,715	34,281	174,810	198,054	202,347	206,289	183,192
Cu	474,430	487,084	419,528	564,489	529,584	498,824	577,720	459,863	566,636
Fe	325,497	445,207	248,750	406,395	256,408	275,432	292,395	324,341	422,073
K	749,607	716,150	496,628	673,039	1397,178	459,946	683,331	506,250	845,381
Mn	198,783	80,915	229,618	153,373	60,341	253,941	276,653	201,297	181,564
Nb	25,100	58,099	101,750	64,775	50,888	85,043	79,874	52,593	39,420
Ni	108,845	55,774	123,343	200,974	189,564	124,083	77,945	68,663	111,516
Rb	114,717	126,631	137,410	140,359	129,421	94,624	146,767	86,307	140,931
Se	83,980	153,374	148,120	166,006	102,474	179,512	135,267	191,035	71,158
Sn	225,635	241,199	232,200	221,204	200,981	344,407	331,286	254,742	252,769
Sr	131,966	129,665	164,255	80,815	135,119	126,770	91,293	112,078	138,662
Ti	165,080	46,915	147,313	168,305	165,638	361,588	69,500	157,679	100,126
V	175,601	49,719	148,135	ND	49,131	ND	ND	38,608	127,738
Y	114,859	78,958	56,995	120,567	54,906	107,939	82,990	109,658	144,102
Zr	57,858	89,843	25,373	79,553	109,190	44,952	44,945	23,625	41,923
Zn	244,697	213,144	185,063	263,981	266,918	220,563	270,534	256,031	255,872

ND significa não detectado

4.6.1.2 Cinética dos elementos lixiviados das argamassas

Como a lixiviação de elementos em amostras monolíticas é controlada pela difusividade torna-se indispensável o entendimento da cinética em função do tempo.

A liberação de um determinado contaminante é dado pela seguinte expressão (mg/m^2) (EIGHMY *et al*, 1997):

$$Bi = \frac{Ci.V}{1000.A} \quad (\text{equação 2})$$

sendo:

Bi = a liberação do elemento por unidade de área no período i (mg/m^2);

Ci = é a concentração do elemento no período (mg/L)

Vi = volume do lixiviante (L)

A = área superficial do material monolítico

Nas Figuras 46, 47 e 48, pode-se visualizar a cinética da lixiviação acumulada do **Ca** (mg/m^2) em função da raiz do tempo nas argamassas REF, SBC e URM. A análise em separado do cálcio deve-se ao fato deste estar presente nas reações de hidratação dos materiais cimentícios.

A cinética de liberação do **Ca** ao longo do tempo, em todas as argamassas, foi bastante semelhante. Entretanto, em algumas argamassas com distintas frações de agregados percebe-se uma menor liberação de cálcio na argamassa de referência. Este fato confirma que a redução dos íons cálcio nos extratos lixiviados das argamassas com agregados de RCD devido ao consumo da portlandita por esses agregados. Observa-se isto nas argamassas SBC e URM<0,15 mm, também na URM 0,15 mm. Já, a argamassa URM 2,40 mm teve um aumento na liberação dos íons cálcio no extrato lixiviado.

As menores concentrações ocorreram, de forma geral, nas argamassas produzidas com agregados nas menores dimensões, principalmente nas argamassas com agregados reciclados.

Pode-se dizer que as argamassas produzidas com finos de agregado normal (REF<0,15 e 0,15 mm) liberaram mais cálcio. Já, aquelas com agregado reciclado consumiram mais cálcio e apresentaram curvas praticamente lineares, mostrando que não ocorreu grande diferença entre os resultados obtidos em cada uma das oito etapas do ensaio de tanque. A argamassa SBC 0,15, com 28 dias, mostrou um comportamento distinto das demais produzidas com agregado reciclado, pois após a quarta etapa do ensaio mostrou uma ascensão nos valores de concentração.

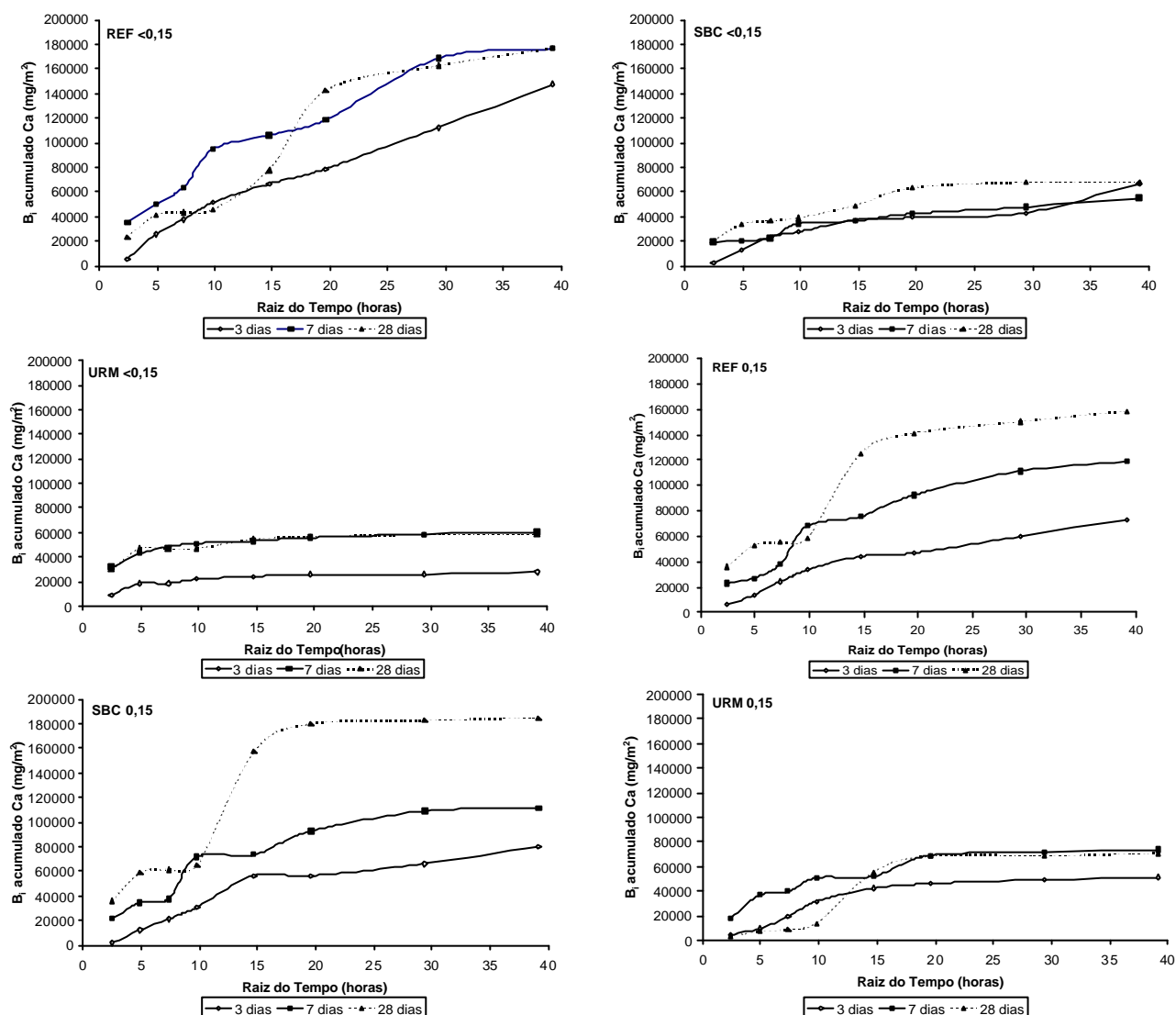


Figura 46 – Lixiviação acumulada (mg/m^2) do Ca em função da raiz do tempo (h) nas argamassas REF, SBC e URM nas frações granulométricas inferior a 0,15 e 0,15 mm

As argamassas produzidas com frações intermediárias (0,3 e 0,6 mm) de agregado, curadas por 28 dias, mostraram maior liberação de cálcio do que aquelas com 3 e 7 dias. As curvas mostram uma tendência linear, com ascensão nas primeiras horas de ensaio. Nota-se que não ocorreu grandes diferenças entre as argamassas produzidas com agregado normal e as demais.

Nas argamassas com agregados de maiores dimensões (1,20 e 2,40 mm) a maior liberação do cálcio ocorreu naquelas curadas durante 7 dias.

Um fato importante que ocorreu durante o ensaio foi a precipitação nas paredes do tanque ou então na superfície da água. A presença desses precipitados podem ter influenciado nos resultados da lixiviação já que não foram considerados na análise do extrato lixiviado e também podem ter influenciado na lixiviação de íons nas renovações da água posteriores. Quando o lixiviante é renovado o material precipitado na superfície do tanque pode dissolver e causar um menor gradiente de concentração entre a água nos poros da argamassa e o lixiviante reduzindo a mobilidade iônica (VAN GERVE *et al*, 2004), isto não somente para a lixiviação do **Ca** mas também dos demais elementos.

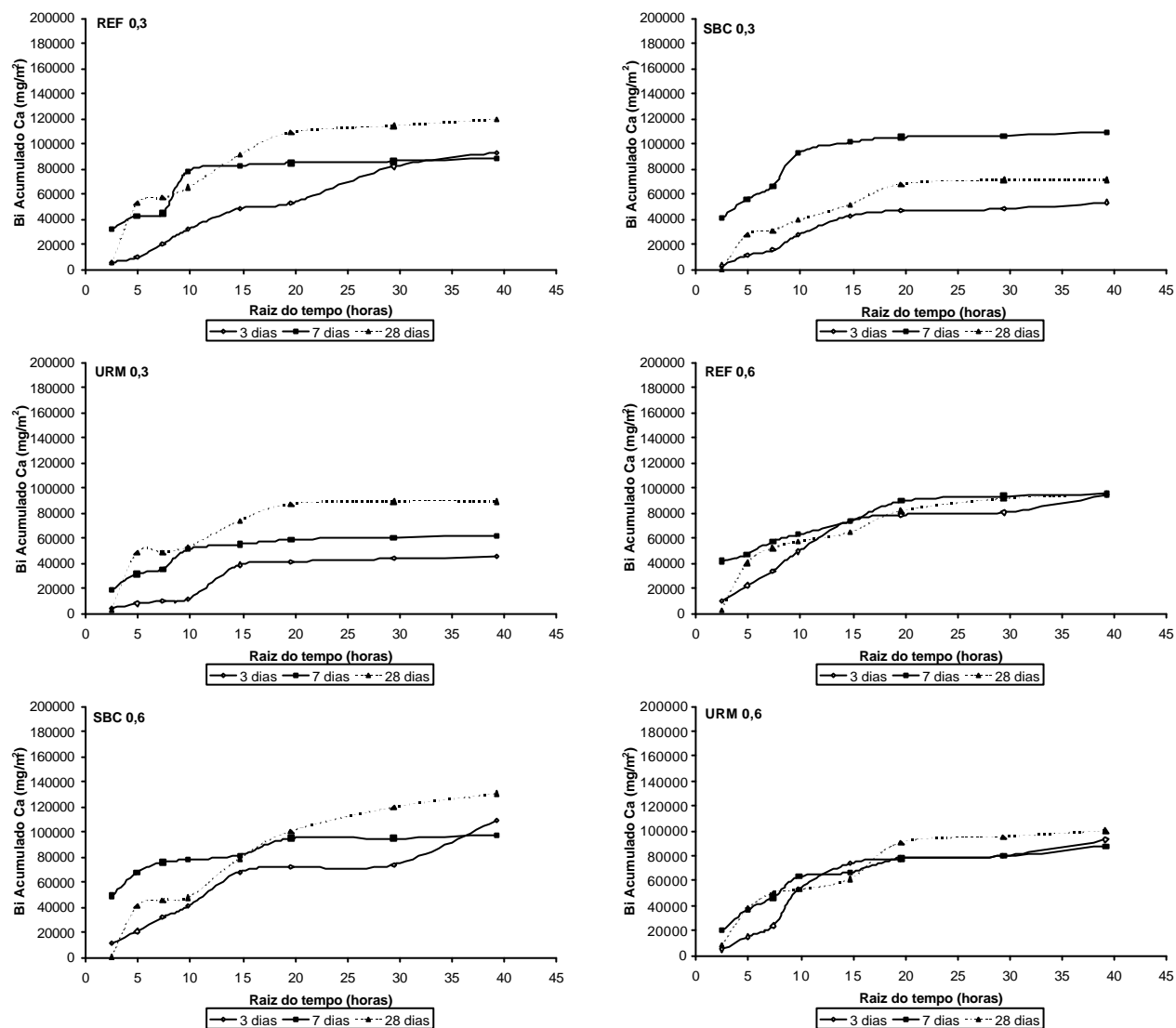


Figura 47 - Lixiviação acumulada (mg/m^2) do Ca em função da raiz do tempo (h) nas argamassas REF, SBC e URM nas frações granulométricas 0,30 e 0,60 mm

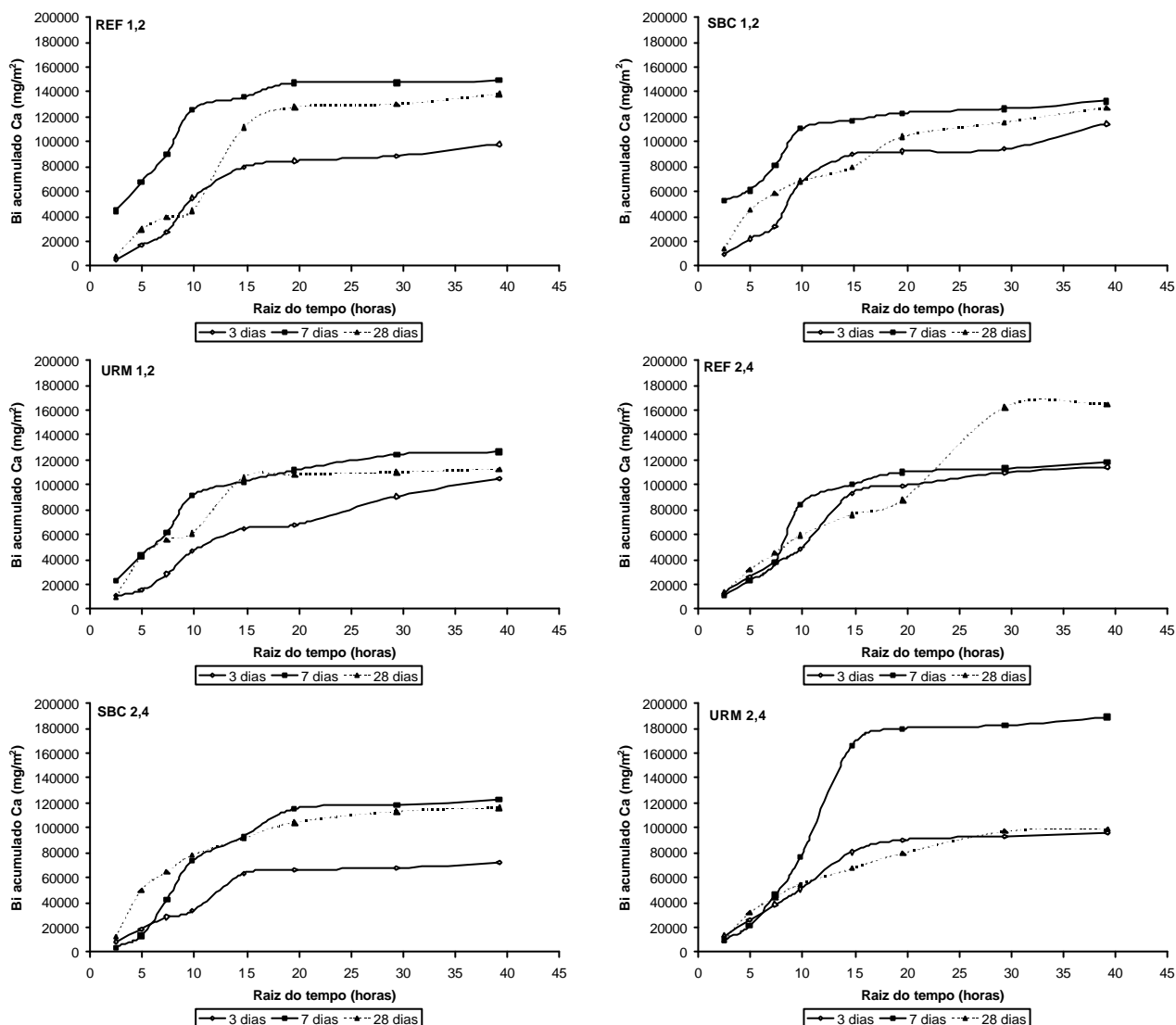


Figura 48 - Lixiviação acumulada (mg/m^2) do Ca em função da raiz do tempo (h) nas argamassas REF, SBC e URM nas frações granulométricas 1,20 e 2,40 mm

As Figuras 49, 50 e 51 mostram o comportamento do cloro no ensaio de tanque. Pode-se visualizar que as curvas apresentadas pelo **Cl** mostram uma ascensão ao longo do tempo de ensaio. Não ocorreu uma tendência linear como foi o caso do **Ca**. Em todas as argamassas ensaiadas a liberação do **Cl** foi mais significativa naquelas curadas durante 7 dias.

A concentração do **Cl** não sofreu muita variação em função da granulometria do agregado utilizado para a produção da argamassa.

O comportamento das argamassas com agregado normal foi bem semelhante àquelas produzidas com agregados reciclados.

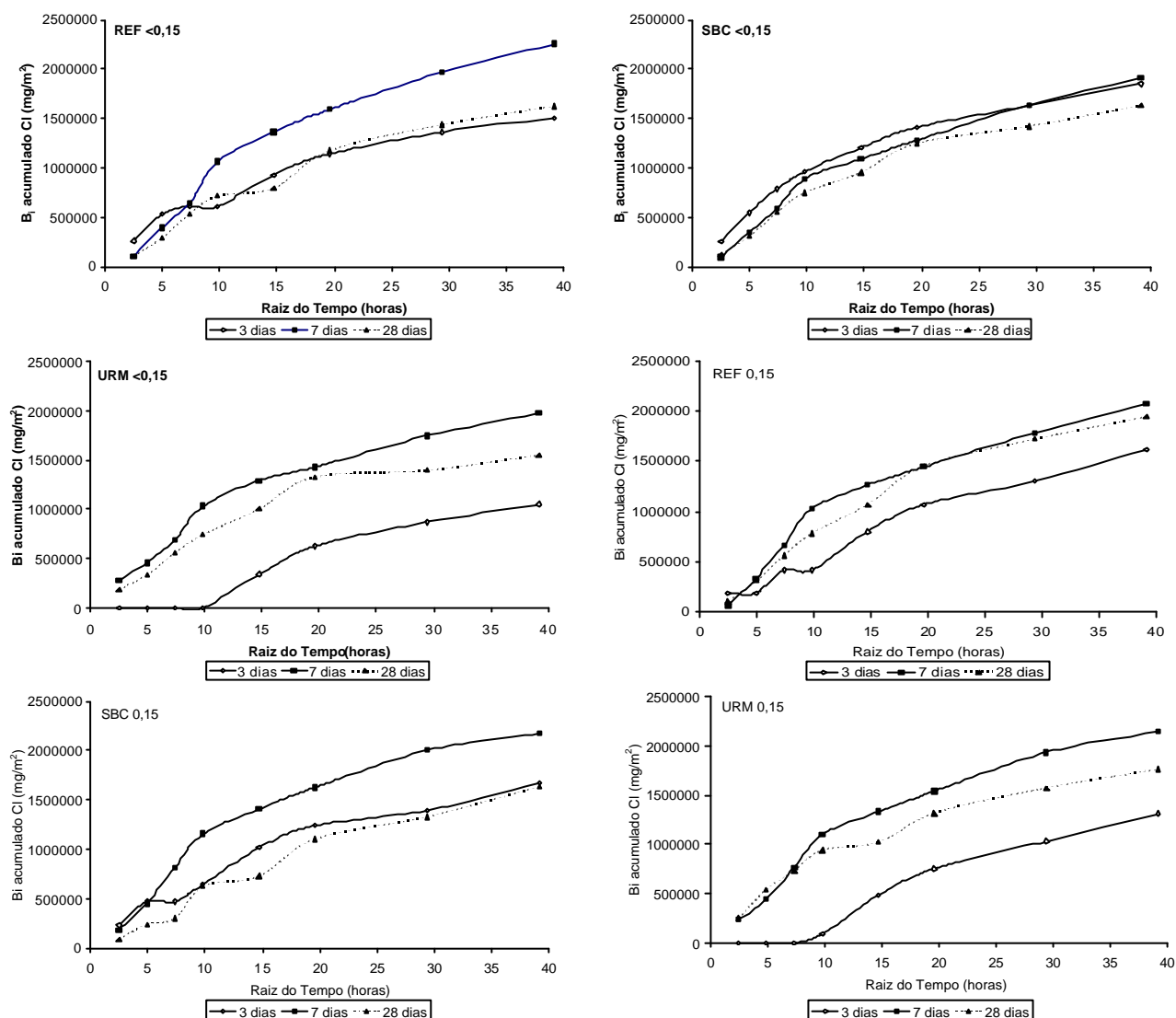


Figura 49 - Lixiviação acumulada (mg/m^2) do Cl em função da raiz do tempo (h) nas argamassas REF, SBC e URM nas frações granulométricas inferior a 0,15 e 0,15 mm

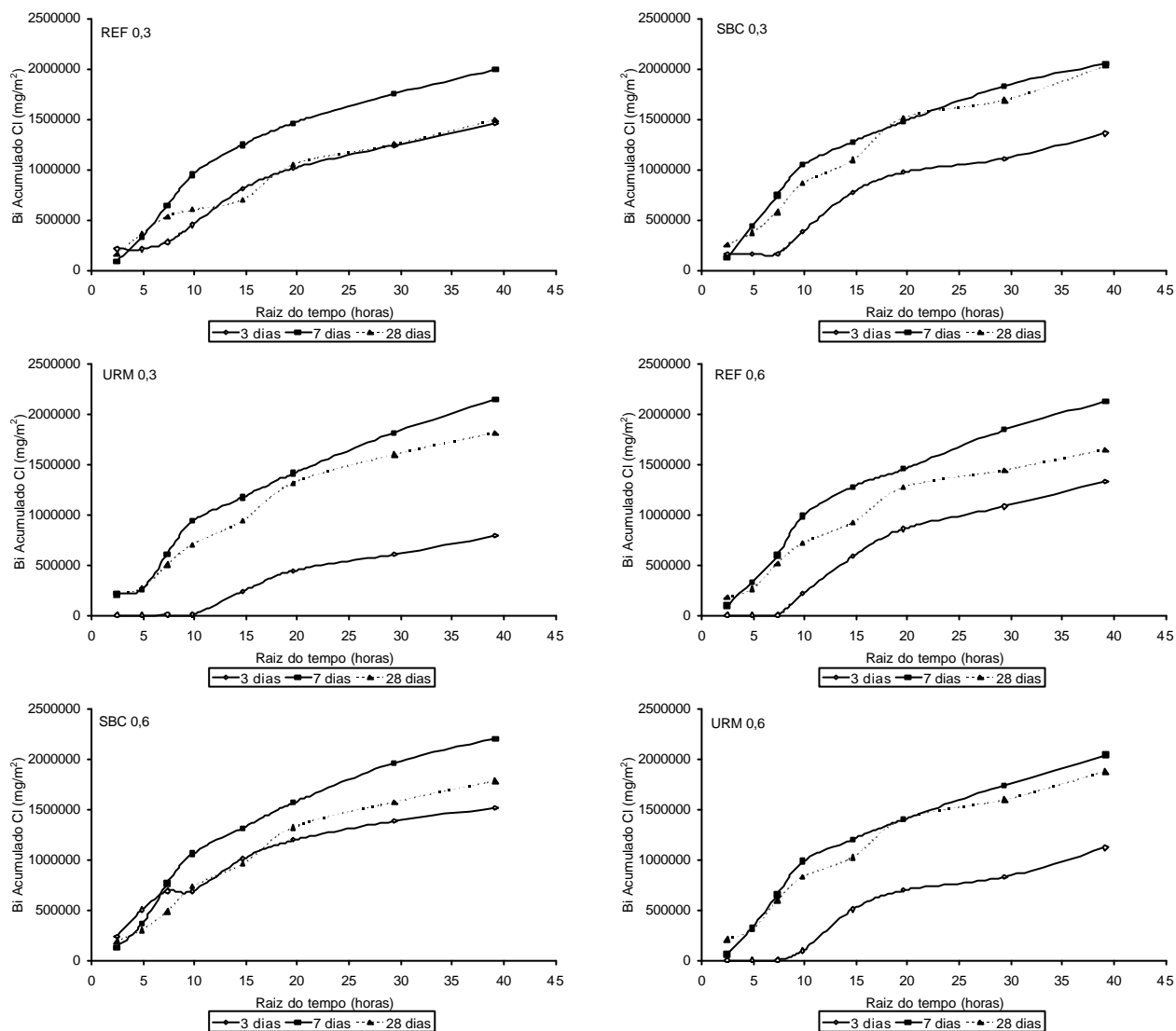


Figura 50 - Lixiviação acumulada (mg/m^2) do Cl em função da raiz do tempo (h) nas argamassas REF, SBC e URM nas frações granulométricas 0,30 e 0,60 mm

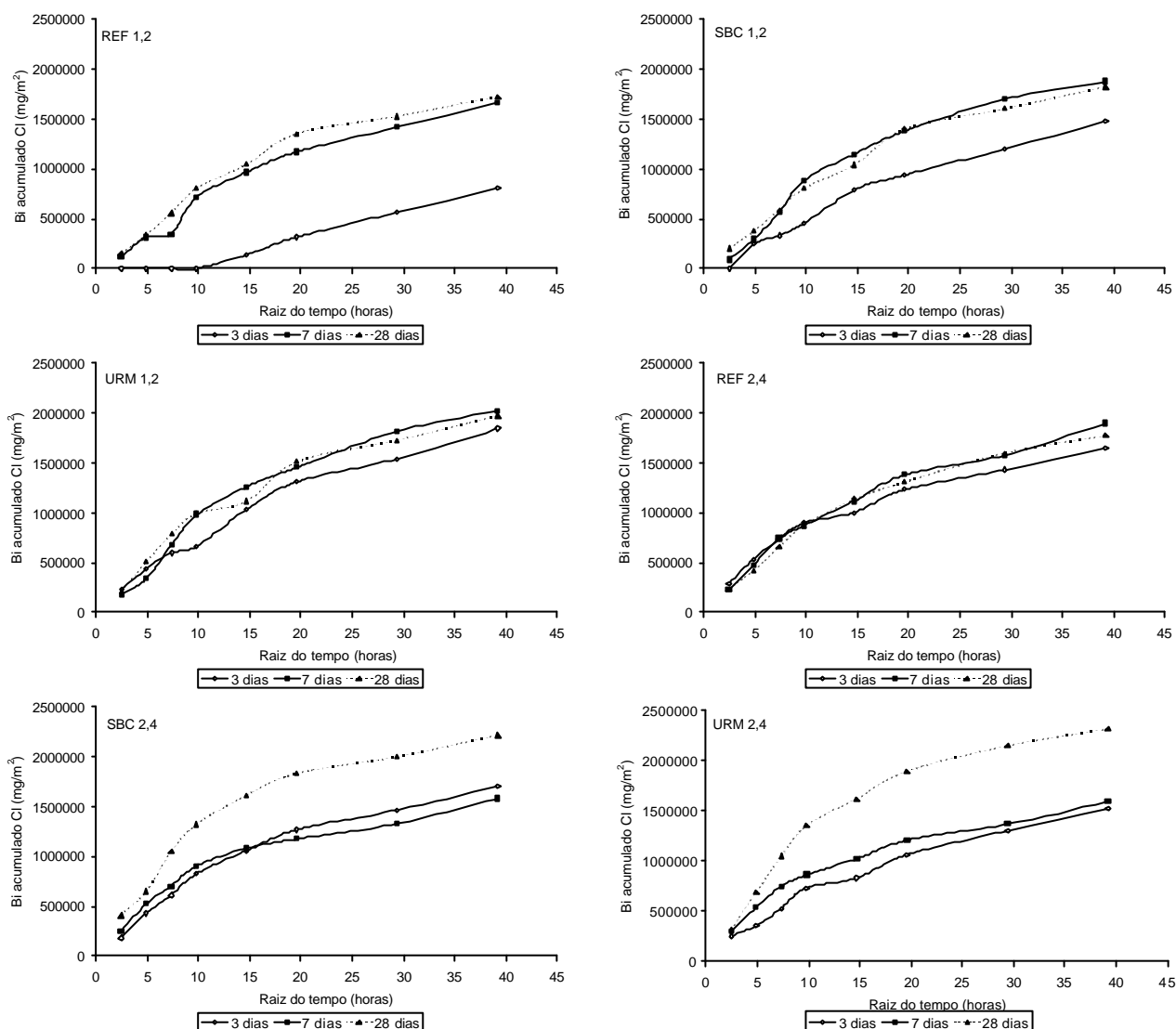


Figura 51 - Lixiviação acumulada (mg/m^2) do Cl em função da raiz do tempo (h) nas argamassas REF, SBC e URM nas frações granulométricas 1,20 e 2,40 mm

4.6.1.3 Cinética dos metais pesados lixiviados das argamassas

Em função da importância do estudo dos metais pesados que possam ser liberados de materiais onde se utilizam resíduos, este tópico em separado, verifica a cinética obtida pelos seguintes metais pesados: **As, Cd, Cr, Cu, Mn, Ni, Se e Zn**. Destacou-se também o **Fe**, pois foi detectado em elevadas concentrações e em praticamente todas as amostras. A correlação entre o logaritmo da concentração dos metais pesados em função do logaritmo do tempo podem ser visualizados no Anexo 5.

As Figuras 52, 53 e 54 mostram a concentração acumulada lixiviada dos oito metais pesados considerados em função da faixa granulométrica e da idade de cura.

Os metais que mostraram maiores concentrações lixiviadas acumuladas nas argamassas, independentemente do período de cura, foram **Cd, Cr e Cu**.

Não se verificou uma tendência em relação à concentração e a faixa granulométrica com que a argamassa foi produzida. Não foi verificada nenhuma diferença significativa entre as argamassas com agregados reciclados e a referência.

O metal que apresentou maior liberação nas argamassas através do ensaio de tanque foi o **Cu**, sua concentração liberada foi muito superior aos demais metais pesados. As concentrações obtidas para o **Cu** nas argamassas não variou muito em função da idade de cura. Nas três idades analisadas os valores mantiveram-se entre 6500 e 11500 mg/m².

O **Cd** apresentou a maior liberação nas argamassas curadas por 3 dias, porém os valores obtidos nas demais idades foram bem próximos, estando entre 2000 e 5000 mg/m².

Ocorreu grande variação na concentração liberada do **Cr**. Os resultados obtidos variaram de 600 a 5500 mg/m², aproximadamente. As concentrações variaram em função da faixa granulométrica, não ocorreu tendência. Pode-se citar como exemplo as argamassas com agregados de 2,40 mm, e idade de 3 dias, que enquanto a concentração do **Cr** na referência foi maior que 6000 mg/m² na amostra SBC o valor obtido foi inferior a 1000 mg/m².

O **Zn** também apresentou valores de concentração liberada significativas. Nas argamassas produzidas com finos foram verificadas as maiores concentrações na idade de 7 dias. O mesmo foi constatado para as argamassas com agregados de dimensões 0,3 e 0,6 mm. Os maiores resultados obtidos para o **Zn** foram 5000 mg/m² nas argamassas com 3 e 7 dias e 5500 mg/m² naquelas com 28 dias. Metal que também foi detectado em maiores concentrações por Asavapisit *et al.* (2005) em estudo com pastas de cinza pulverizada.

Dos oito metais pesados selecionados o **As** apresentou as menores faixas de concentração. As argamassas com agregados nas dimensões 0,3 e 0,6 mm, com idades de 3 e 7 dias, mostraram as maiores concentrações para o **As** com valores entre 1500 e 2500 mg/m².

As maiores concentrações para o metal **Ni** foram nas argamassas <0,15 e 0,15mm, com valores superiores a 2000 mg/m².

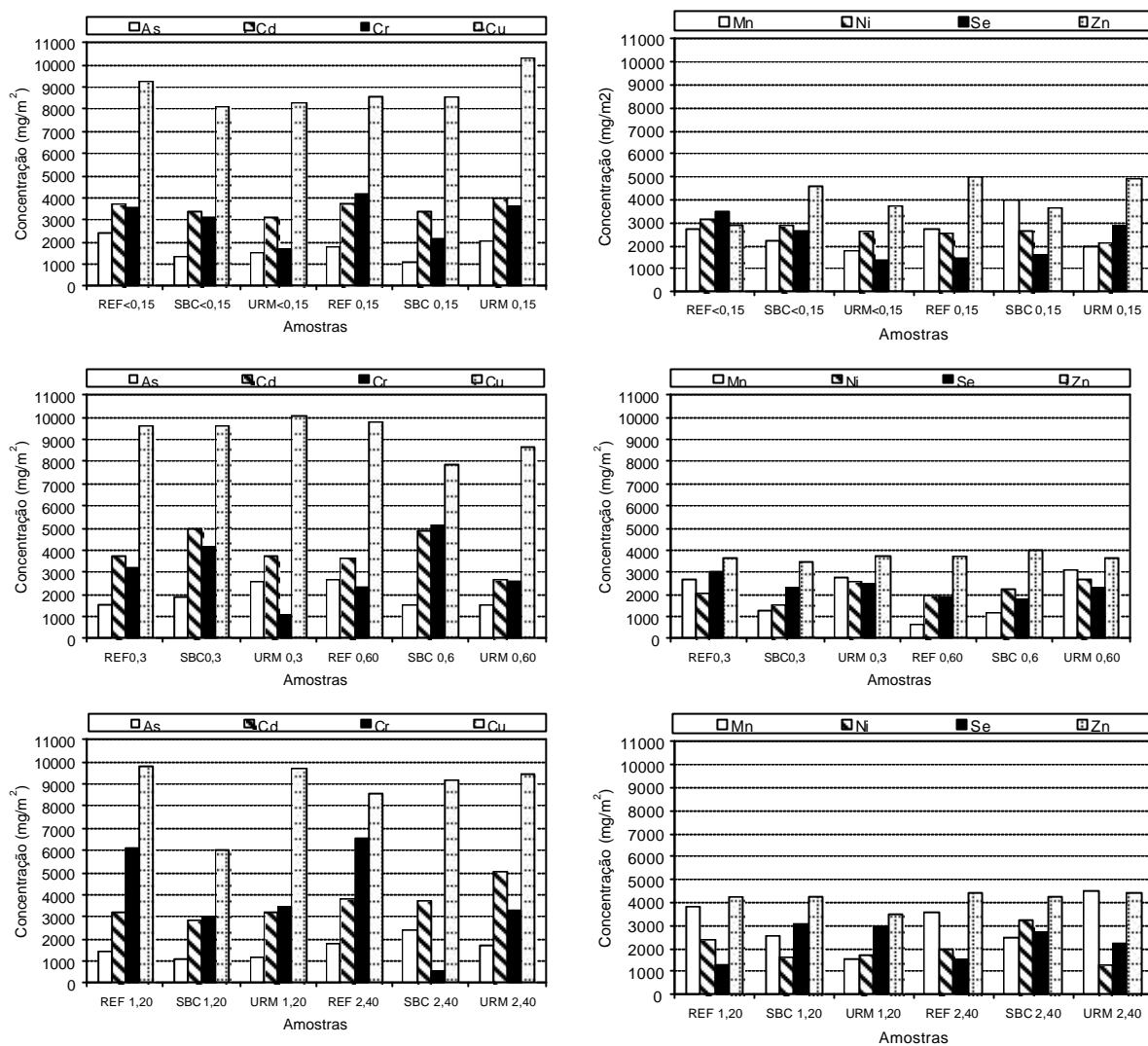


Figura 52 - Concentração acumulada lixiviada dos metais pesados ao longo dos 64 dias de ensaio nas argamassas de 3 dias (mg/m^2)

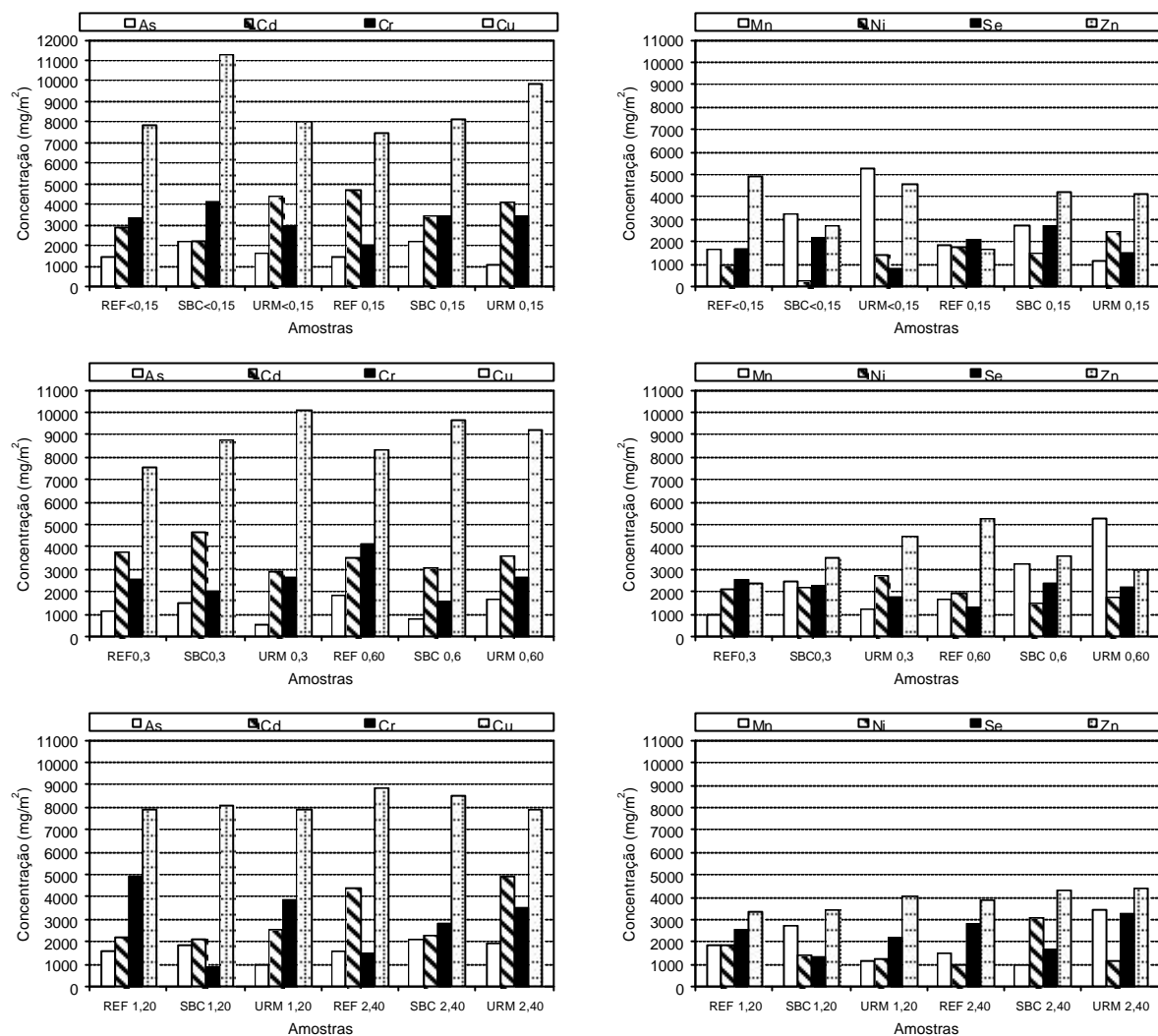


Figura 53 - Concentração acumulada lixiviada dos metais pesados ao longo dos 64 dias de ensaio nas argamassas de 7 dias (mg/m^2)

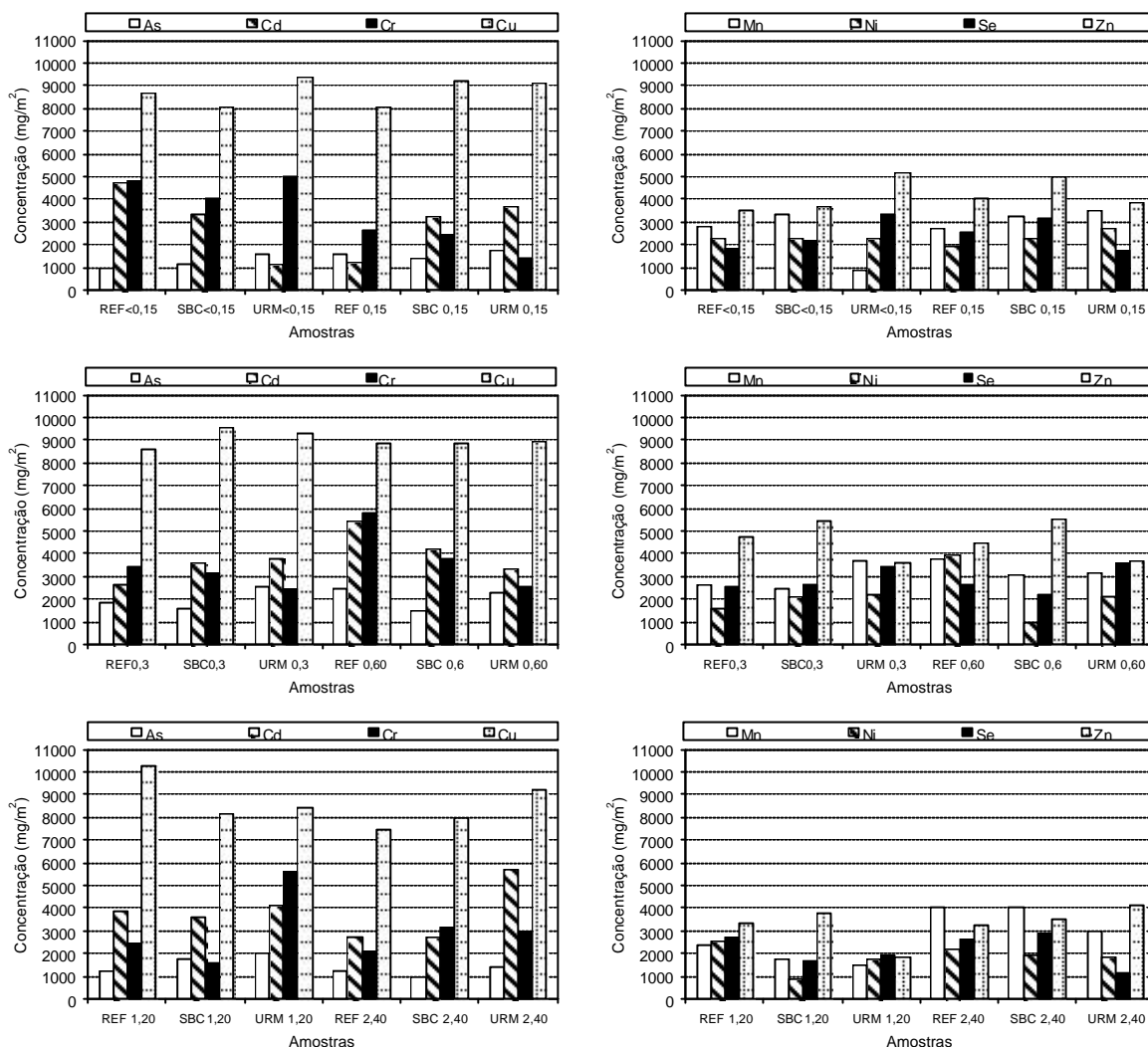


Figura 54 - Concentração acumulada lixiviada dos metais pesados ao longo dos 64 dias de ensaio nas argamassas com 28 dias(mg/m^2)

As Figuras 55, 56 e 57 mostram a cinética do **As** nas distintas argamassas ensaiadas.

O **As** mostrou bastante diferença de concentração em função da idade de cura. Porém não ocorreu nenhuma tendência clara em função da concentração e da idade de cura. Pelos gráficos percebe-se que as menores concentrações lixiviadas ocorreram nas argamassas com idade de 28 dias.

Em geral, as curvas do **As** mostram uma ascensão nas primeiras horas de ensaio e uma posterior tendência linear. Isto está bem nítido na argamassa URM 0,60 que após 400 horas de ensaio os valores de concentração praticamente não variaram. Outro fator que pode ser observado é uma pequena deflexão nas curvas em 200 horas de ensaio, um dos casos pode ser visualizado na argamassa SBC 0,30.

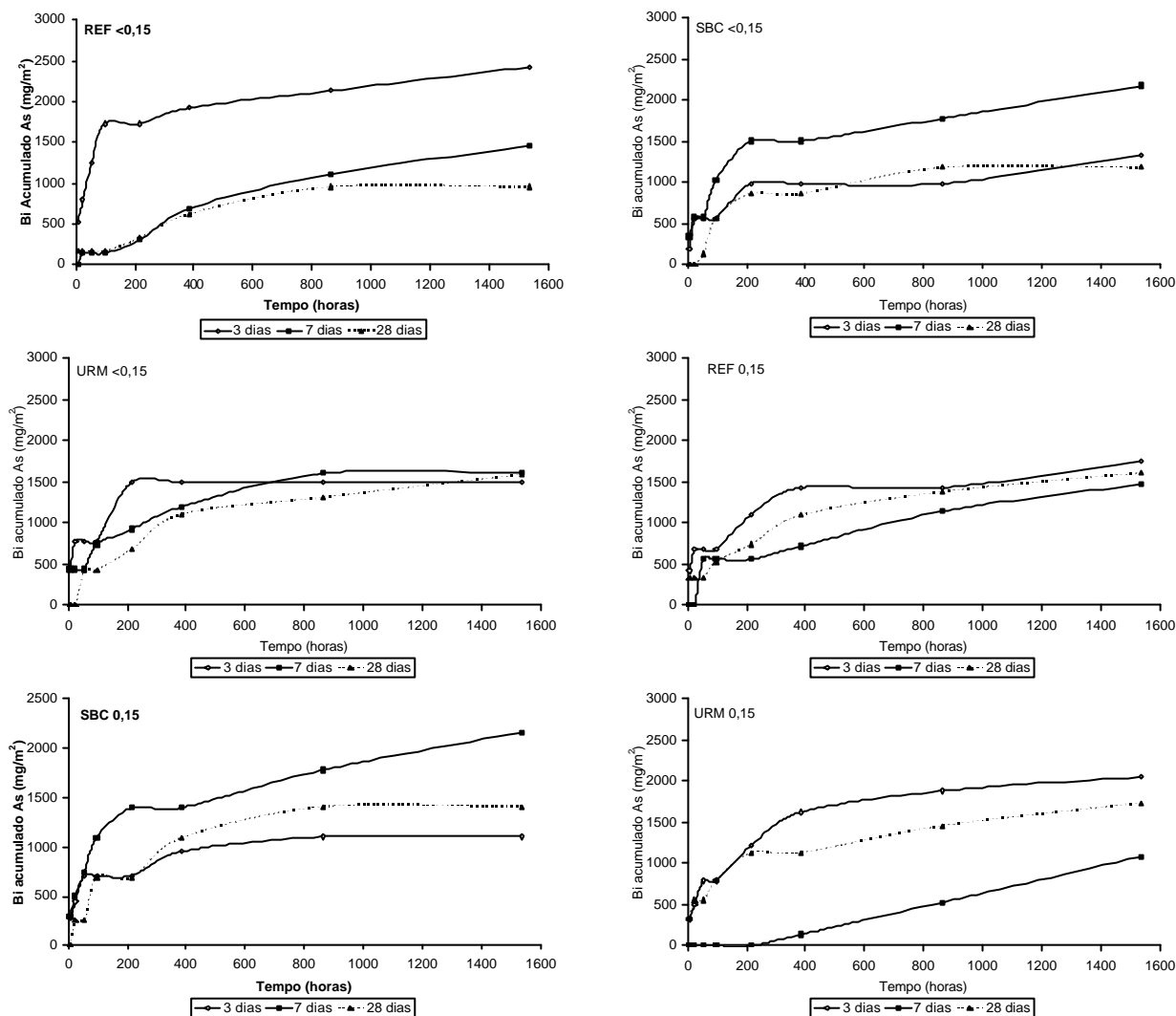


Figura 55 - Lixiviação acumulada (mg/m^2) do As ao longo do tempo nas argamassas REF, SBC e URM nas faixas granulométricas inferior á 0,15 e 0,15 mm

As argamassas com produzidas com agregados nas dimensões 1,20 e 2,40 mm mostraram maior tendência linear às curvas obtidas, isso normalmente ocorre após 400 horas de ensaio.

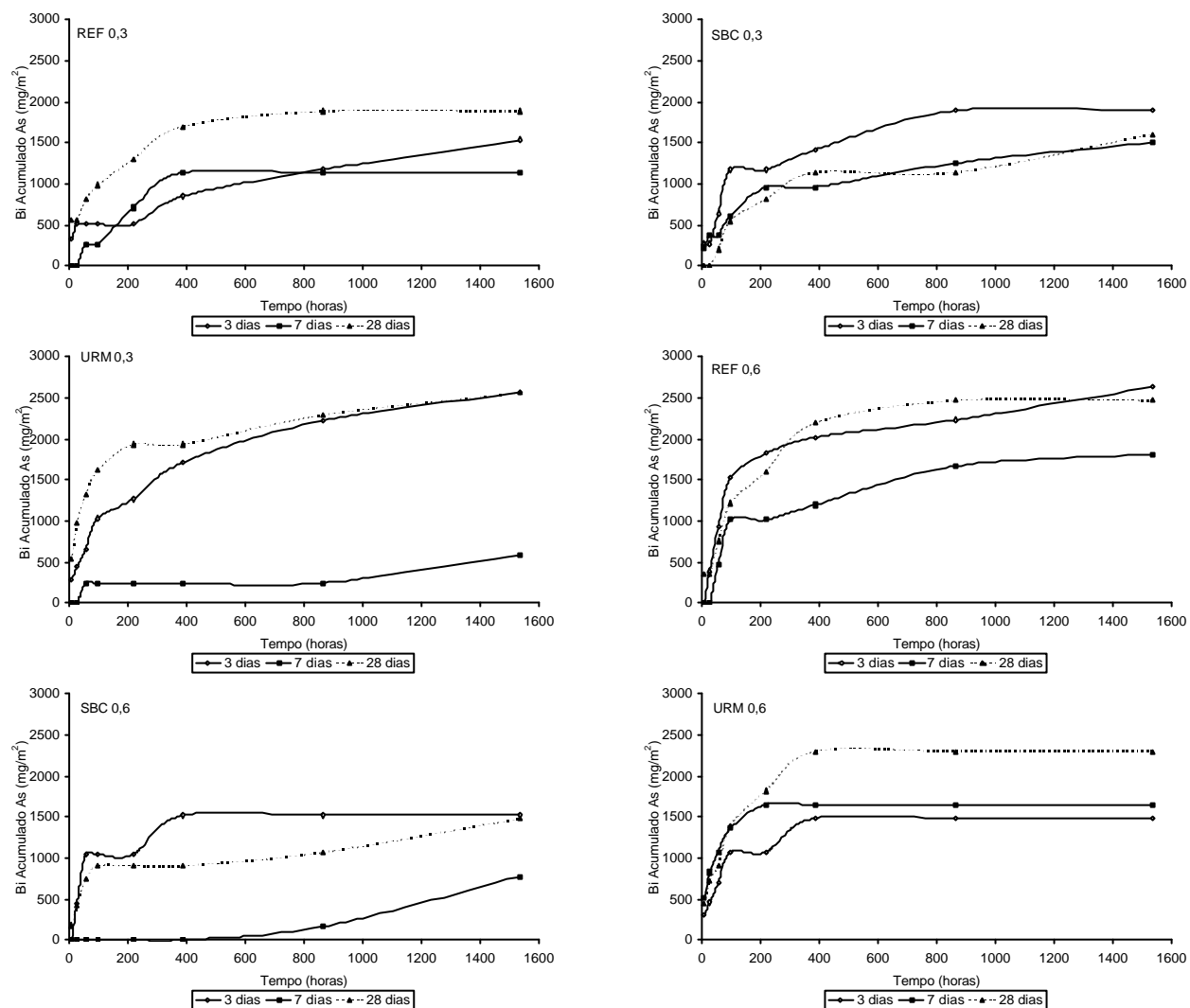


Figura 56 - Lixiviação acumulada (mg/m^2) do As ao longo do tempo nas argamassas REF, SBC e URM nas faixas granulométricas 0,30 e 0,60 mm

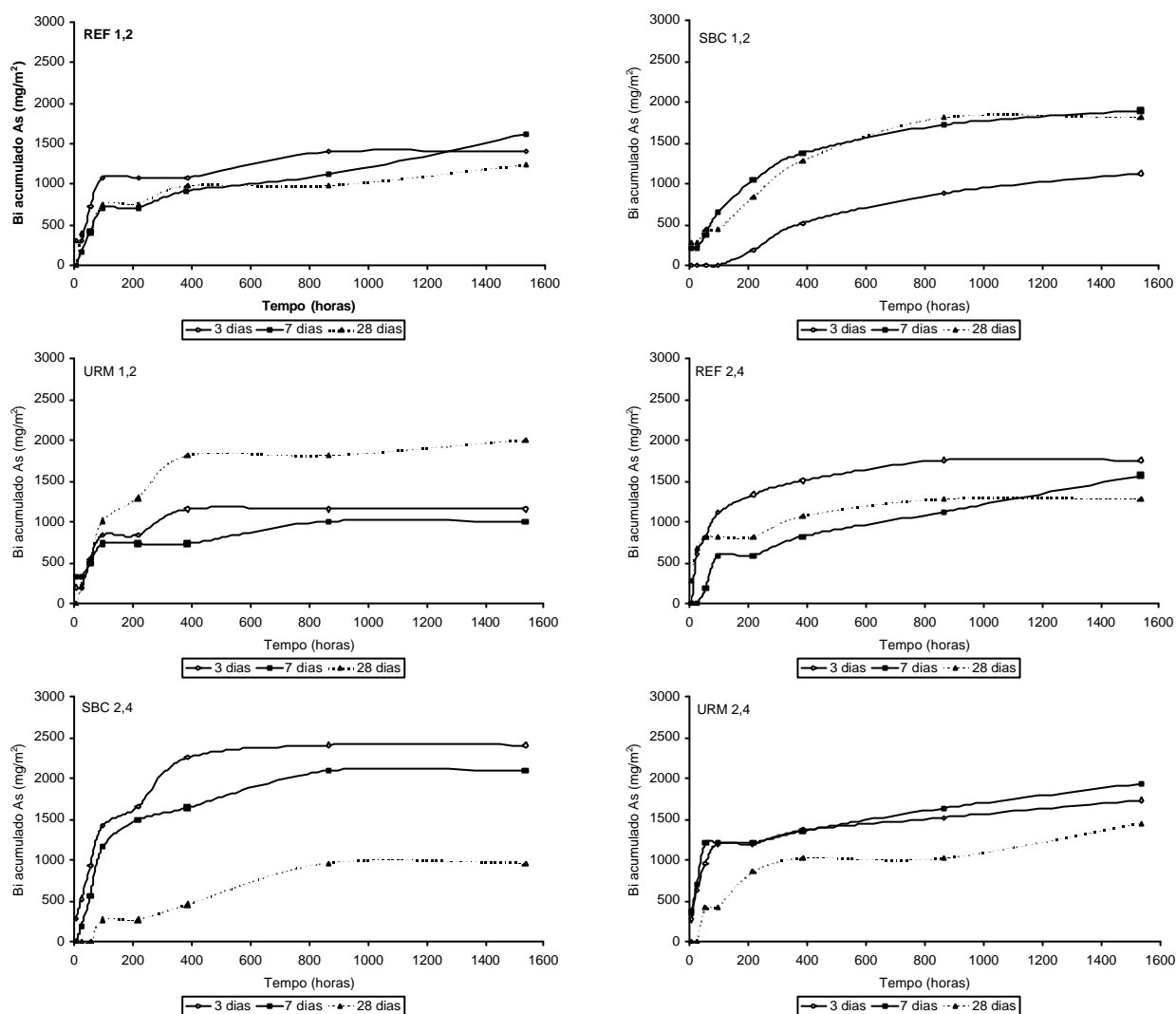


Figura 57 - Lixiviação acumulada (mg/m^2) do As ao longo do tempo nas argamassas REF, SBC e URM nas faixas granulométricas 1,20 e 2,40 mm

A liberação do **Cd** ao longo do tempo pode ser visualizada nas Figuras 58, 59 e 60. O **Cd** mostrou concentrações maiores que o **As**. Essas concentrações variaram bastante em função da granulometria do agregado com que a argamassa foi produzida. A cinética de liberação do **Cd** foi bem similar à do **As**.

As deflexões observadas na cinética do **Cd** foram pontuais, ocorrendo principalmente nas argamassas com idade de 28 dias e referência. Como exemplo podem-se visualizar as argamassas REF 0,15 e 2,4.

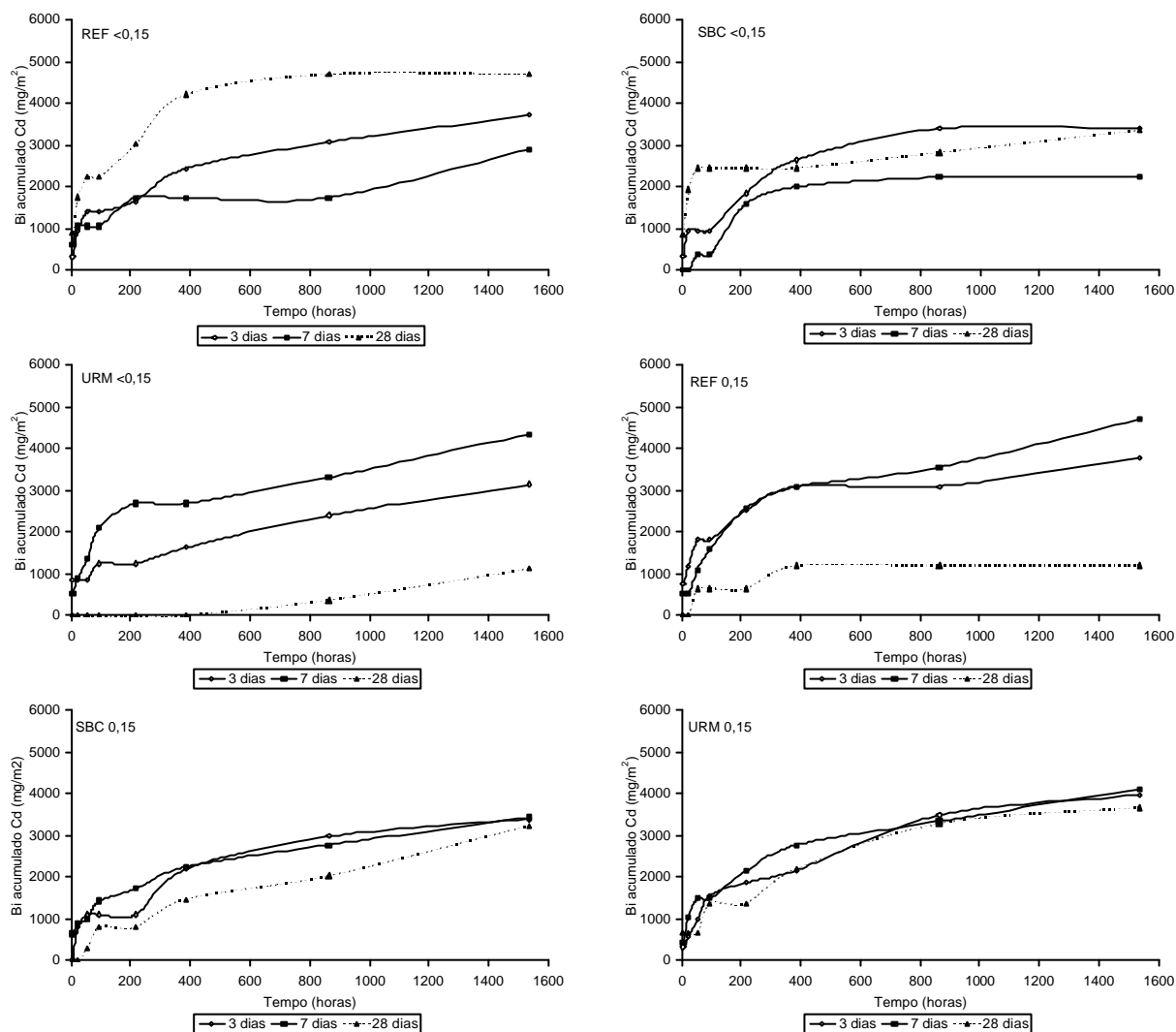


Figura 58 - Lixiviação acumulada (mg/m^2) do Cd ao longo do tempo nas argamassas REF, SBC e URM nas faixas granulométricas inferior á 0,15 e 0,15 mm

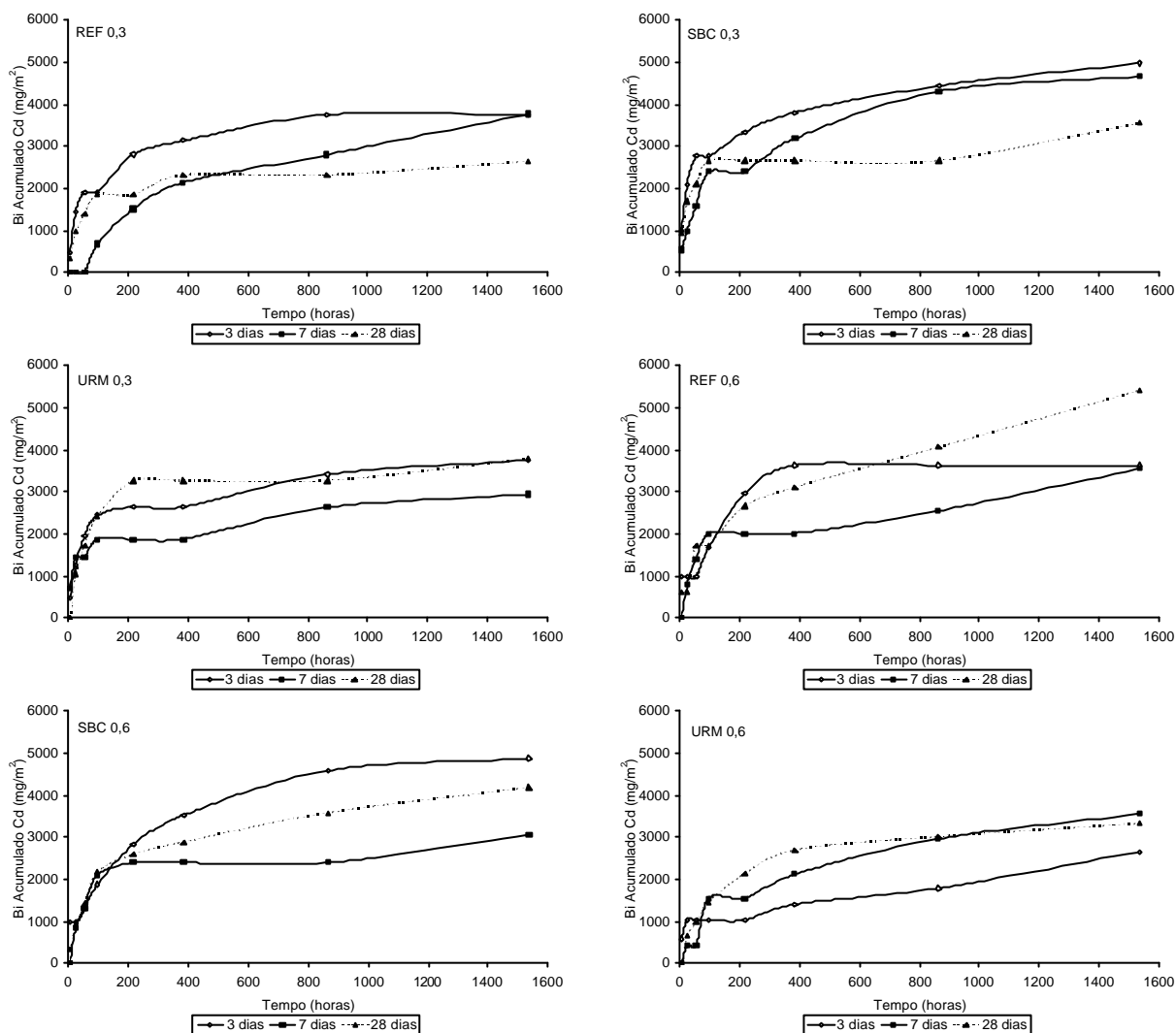


Figura 59 - Lixiviação acumulada (mg/m^2) do Cd ao longo do tempo nas argamassas REF, SBC e URM nas faixas granulométricas 0,30 e 0,60 mm

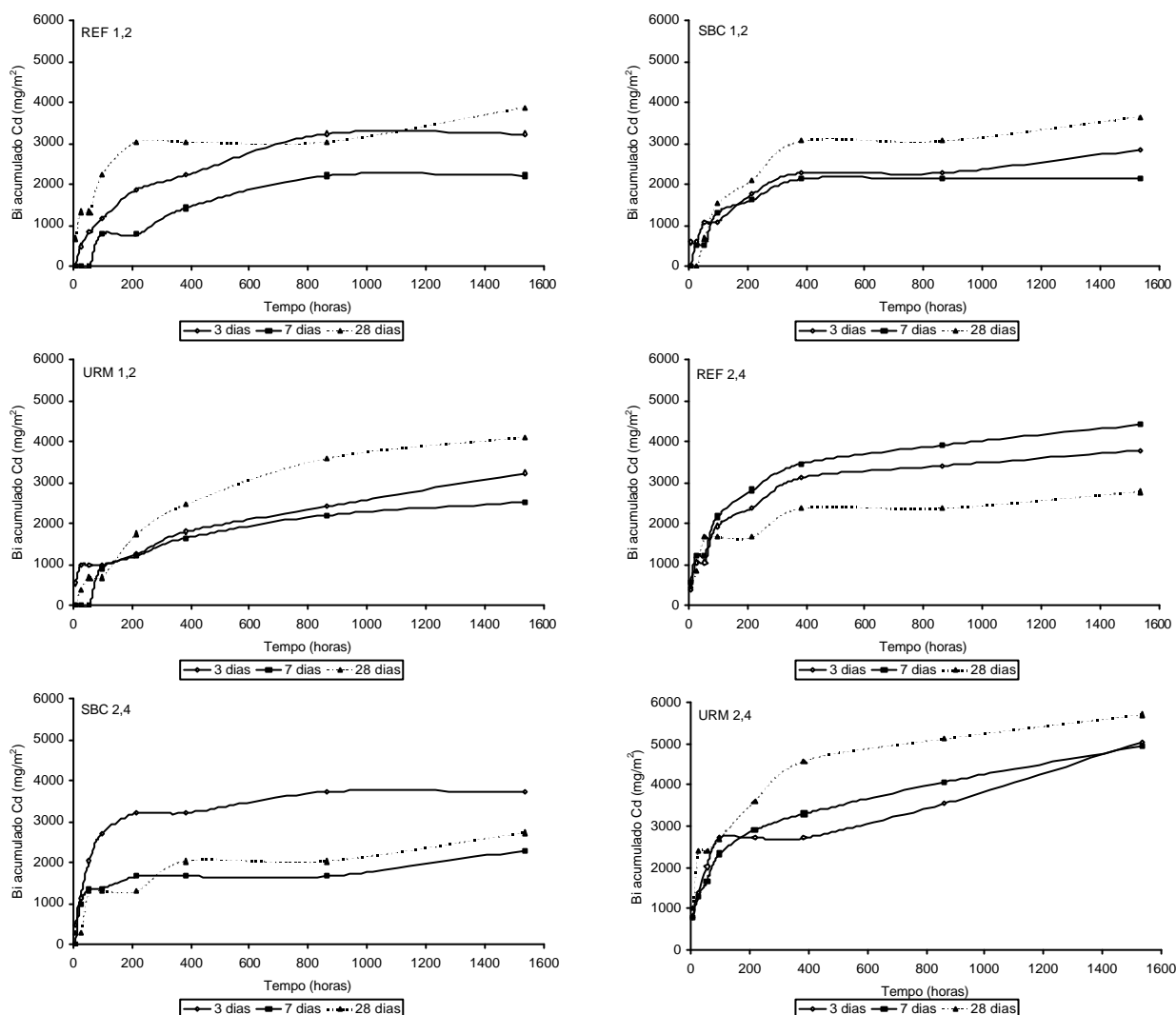


Figura 60 - Lixiviação acumulada (mg/m^2) do Cd ao longo do tempo nas argamassas REF, SBC e URM nas faixas granulométricas 1,20 e 2,40 mm

A concentração lixiviada acumulada do **Cu** foi superior aos demais metais pesados, estando na ordem de 10000 mg/m^2 , conforme Figuras 61, 62 e 63. As curvas obtidas para o metal foram ascendentes para todas as amostras analisadas, isso por que o **Cu** foi detectado em praticamente todas as etapas do ensaio de tanque, não apresentando “zeros”.

As diferenças entre as concentrações em função da idade de cura foram pouco significativas, o que pode ser verificado pela sobreposição das curvas, como por exemplo, nas amostras SBC 2,4 e URM 0,3.

Aquelas deflexões observadas para o **As** ocorreram de forma bastante sutil para o **Cu**.

Não se verificou diferença na cinética de liberação do **Cu** em função da granulometria do agregado utilizado.

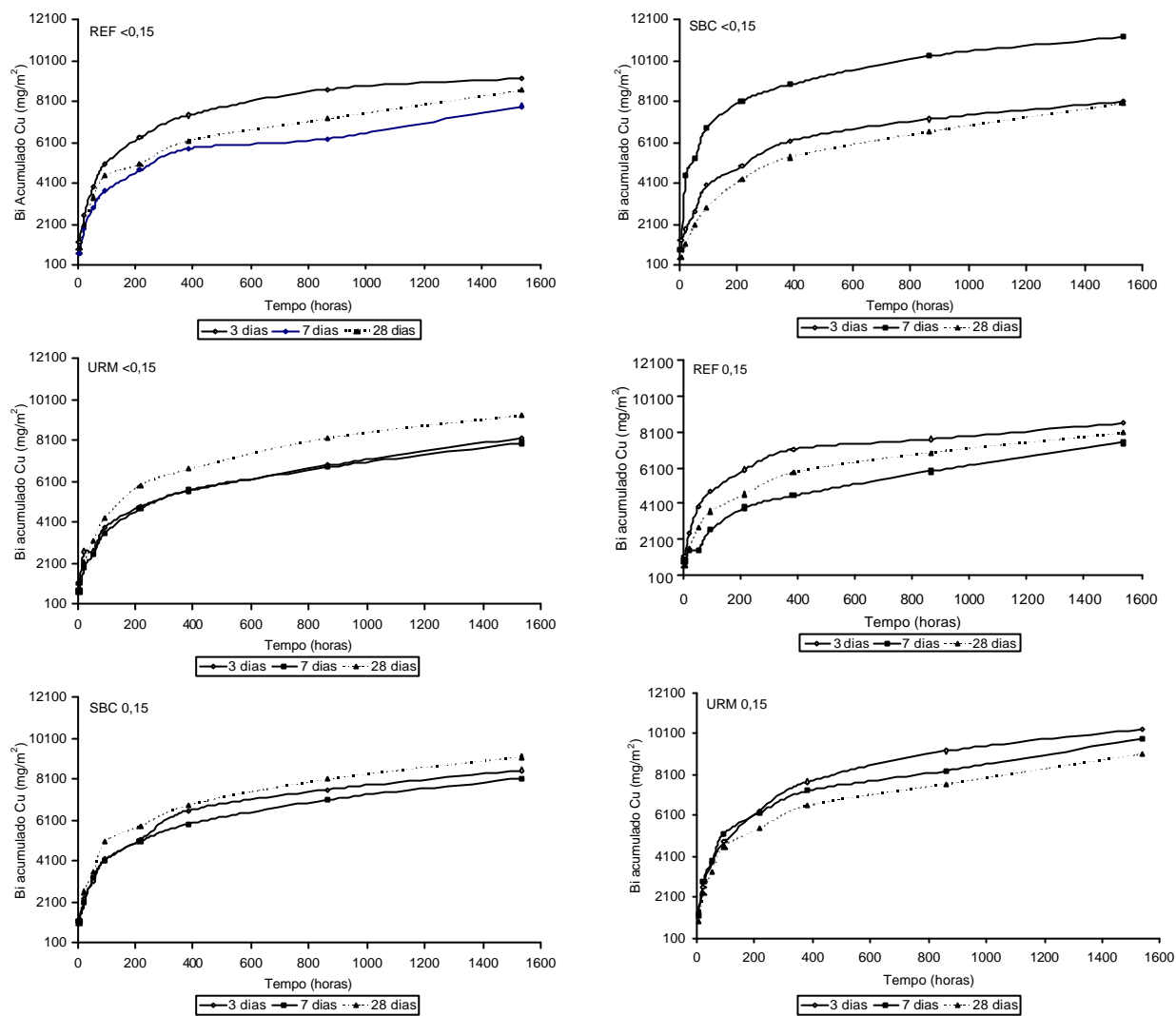


Figura 61 - Lixiviação acumulada (mg/m^2) do Cu ao longo do tempo nas argamassas REF, SBC e URM nas faixas granulométricas inferior á 0,15 e 0,150 mm

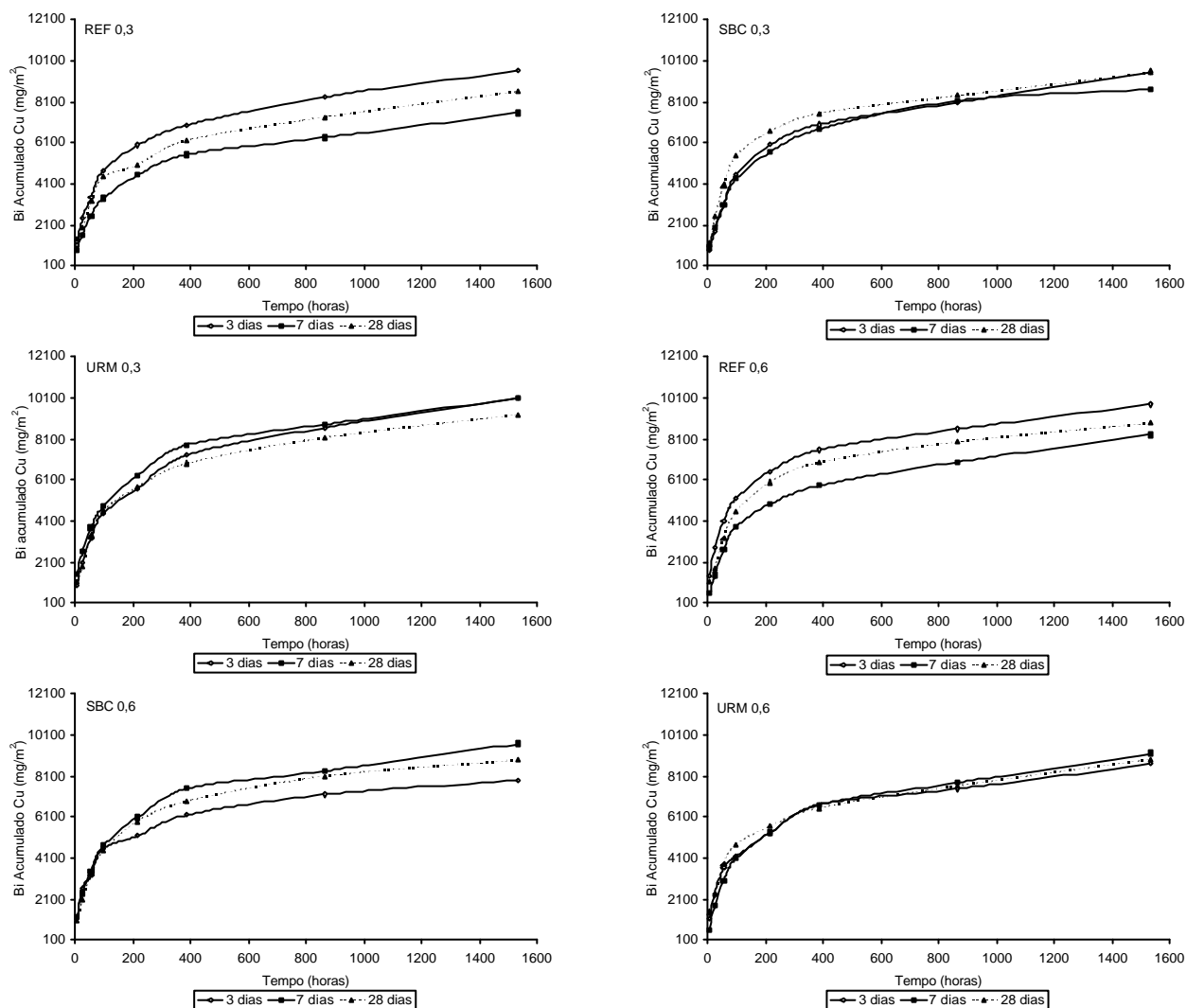


Figura 62 - Lixiviação acumulada (mg/m^2) do Cu ao longo do tempo nas argamassas REF, SBC e URM nas faixas granulométricas 0,30 e 0,60 mm

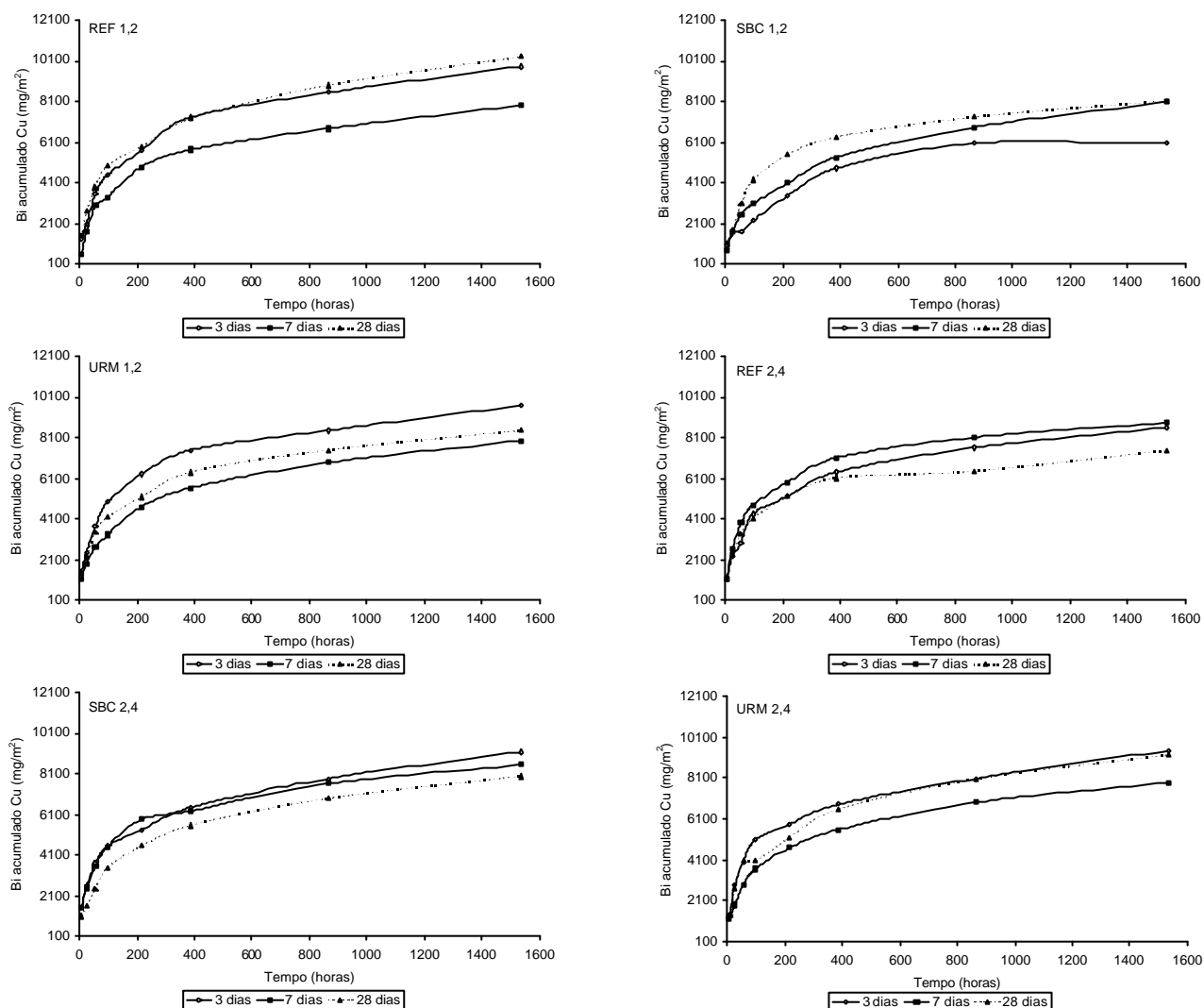


Figura 63 – Lixiviação acumulada (mg/m²) do Cu ao longo do tempo nas argamassas REF, SBC e URM nas faixas granulométricas 1,20 e 2,40 mm

As curvas obtidas para o metal **Mn** mostram mais irregularidades que para os demais, conforme Figuras 64, 65 e 66. Uma das causas é devido ao fato de que o **Mn** não foi freqüente a todas as etapas do ensaio de tanque, em muitas delas sua concentração não foi detectada. Isto pode ser observado na argamassa URM 1,20, que na idade de 3 dias, por exemplo, atingiu concentração de 1500 mg/m² nas primeiras horas e manteve-se até o fim do ensaio. O mesmo ocorreu para as idades de 7 e 28 dias, porém com outros valores de concentração.

Ocorreu grande variação na liberação do metal em função da idade de cura, como exemplo, a argamassa SBC 0,60.

Os valores obtidos também variaram muito em cada uma das oito etapas preconizadas no ensaio. Na amostra URM<0,15, 3 dias, pode ser visualizado que nas primeiras horas houve uma ascensão da curva, posteriormente manteve-se constante e finalmente da sétima para a oitava etapa novamente uma ascensão bastante significativa. Pode-se resumir dizendo em apenas duas das oito etapas o **Mn** foi detectado.

A deflexão observada em outros metais, nas 200 horas de ensaio, esteve presente em algumas amostras também para o **Mn**.

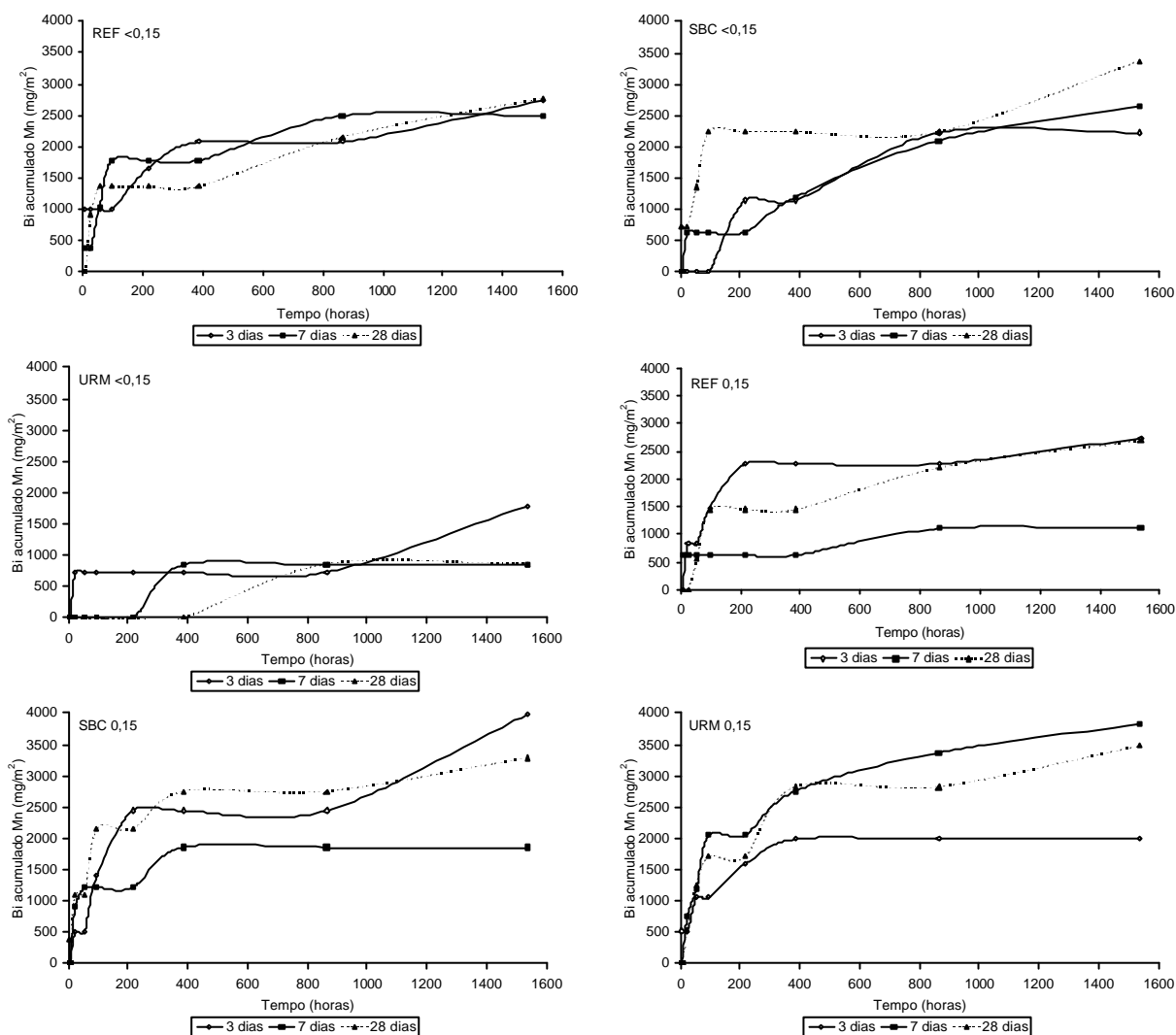


Figura 64 - Lixiviação acumulada (mg/m^2) do Mn ao longo do tempo nas argamassas REF, SBC e URM nas faixas granulométricas inferior à 0,15 e 0,15 mm

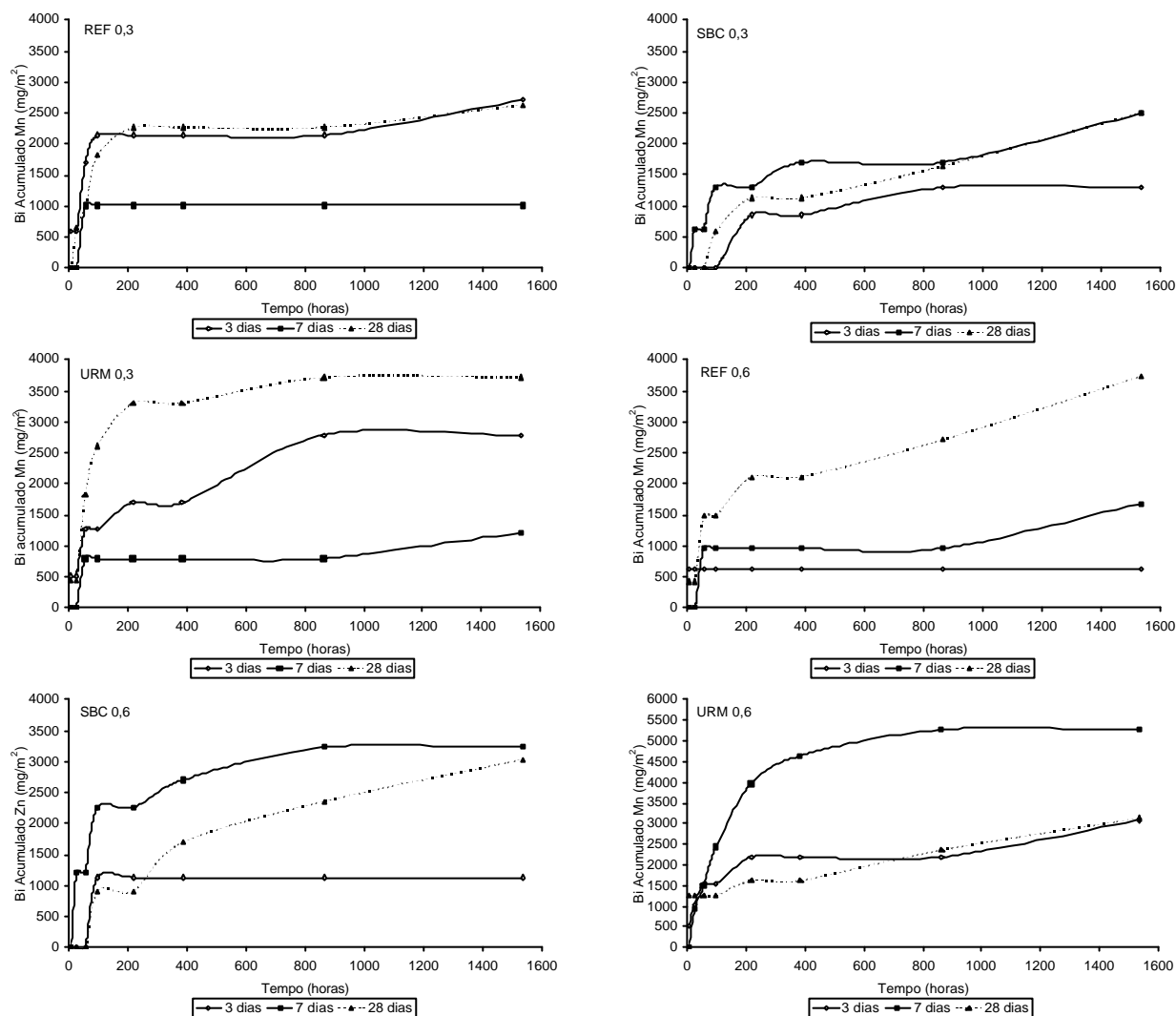


Figura 65 - Lixiviação acumulada (mg/m^2) do Mn ao longo do tempo nas argamassas REF, SBC e URM nas faixas granulométricas 0,30 e 0,60 mm

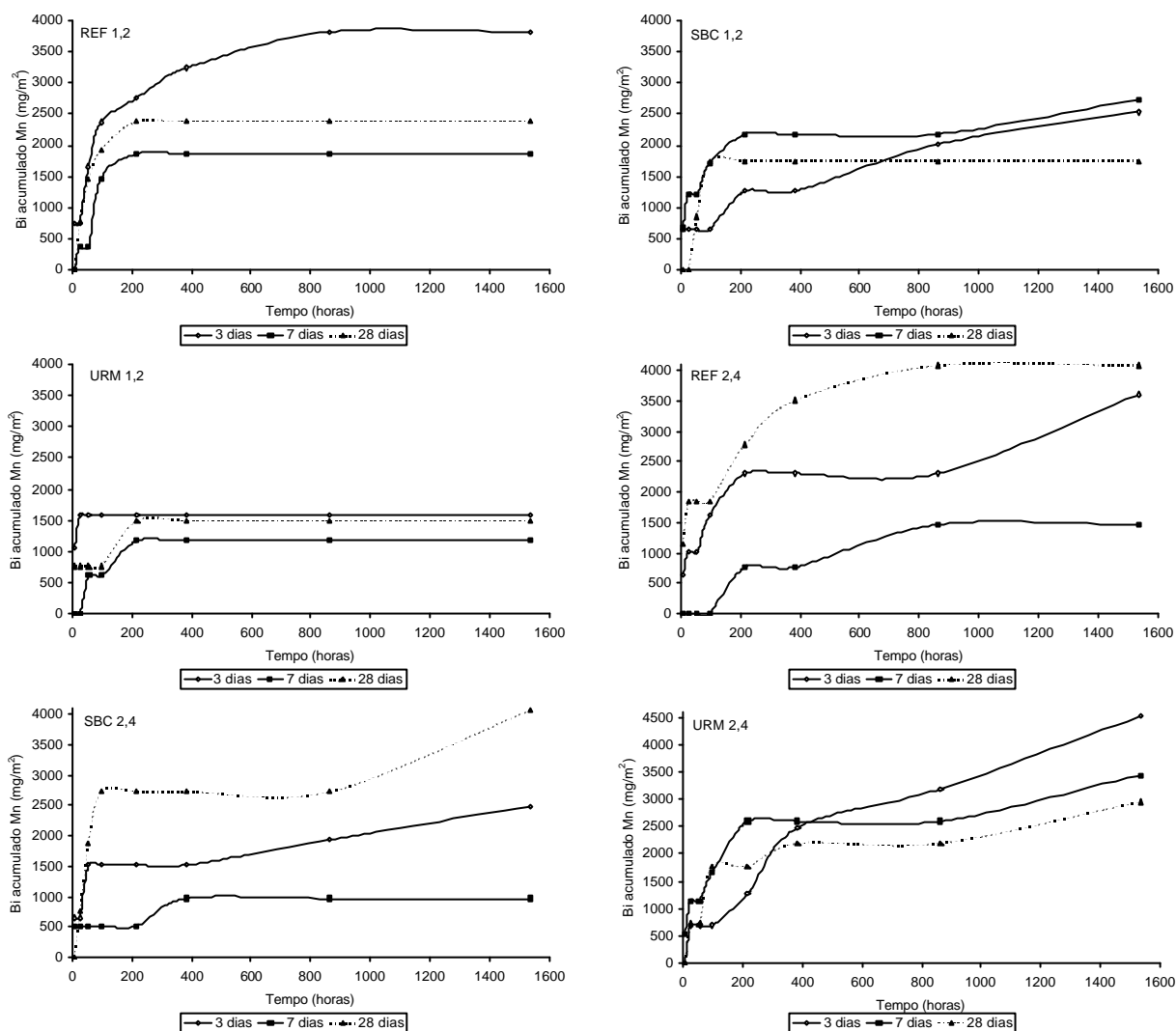


Figura 66 - Lixiviação acumulada (mg/m^2) do Mn ao longo do tempo nas argamassas REF, SBC e URM nas faixas granulométricas 1,20 e 2,40 mm

A liberação do **Zn** em função do tempo está representada nas Figuras 67, 68 e 69. Em relação ao **Zn**, as argamassas produzidas com agregados reciclados nas dimensões 1,20 e 2,40 mm mostraram concentrações inferiores às demais.

As curvas obtidas pelo **Zn** são ascendentes, principalmente nas primeiras horas de ensaio. Em alguns casos, como na argamassa URM 1,20, ocorreu uma constante, isto devido a algumas etapas em que o metal não foi detectado.

A argamassa URM 2,40, em relação ao **Zn**, não mostrou distinção em função da concentração e das idades de cura. Nas demais amostras, a liberação do **Zn** ocorreu principalmente nas argamassas com idades de 7 e 28 dias. Nas argamassas REF percebe-se maior influência da idade de cura na concentração. Em oito amostras ocorreram deflexões nas 200 horas de ensaio.

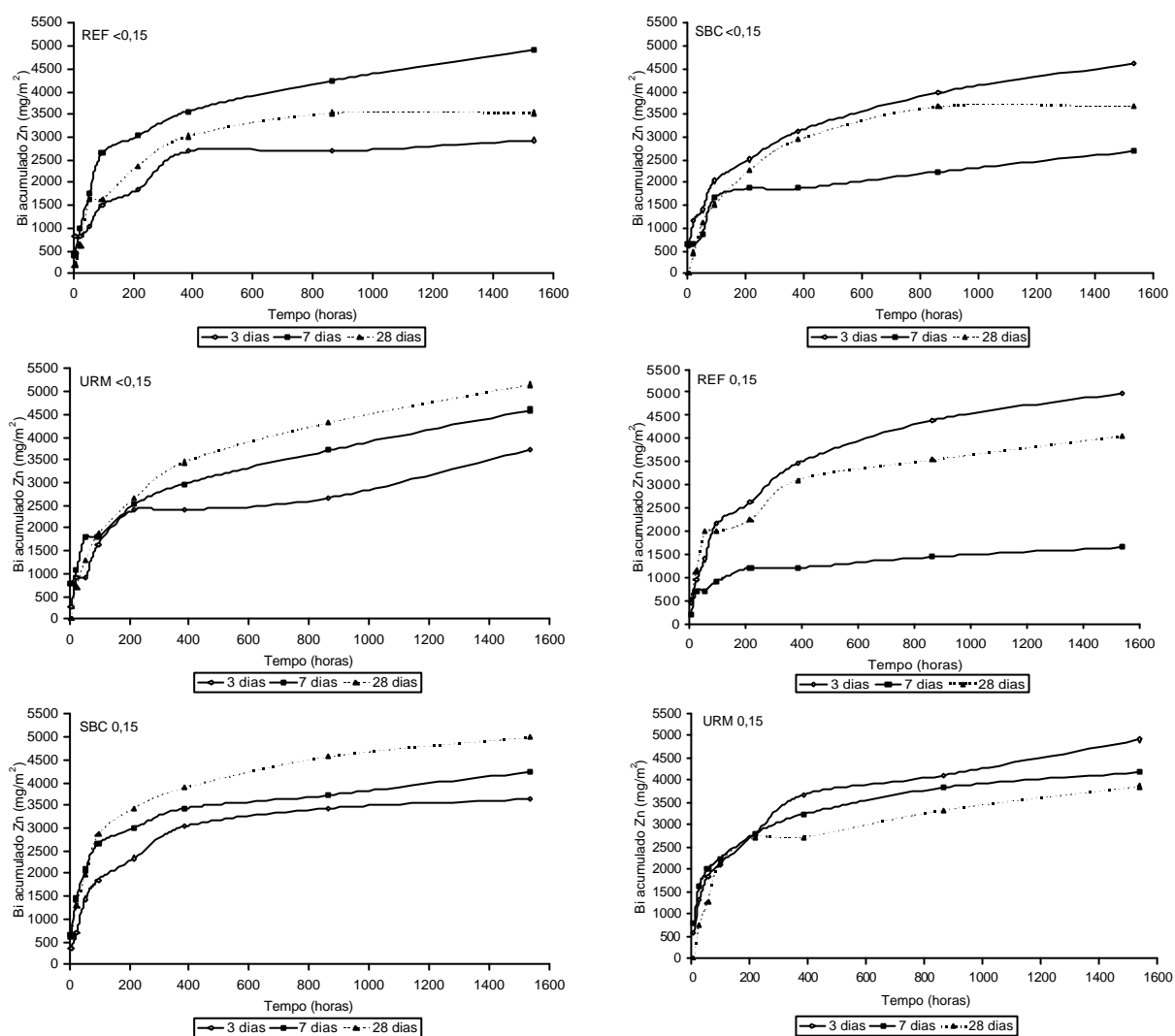


Figura 67 - Lixiviação acumulada (mg/m^2) do Zn ao longo do tempo nas argamassas REF, SBC e URM nas faixas granulométricas inferior a 0,15 e 0,15 mm

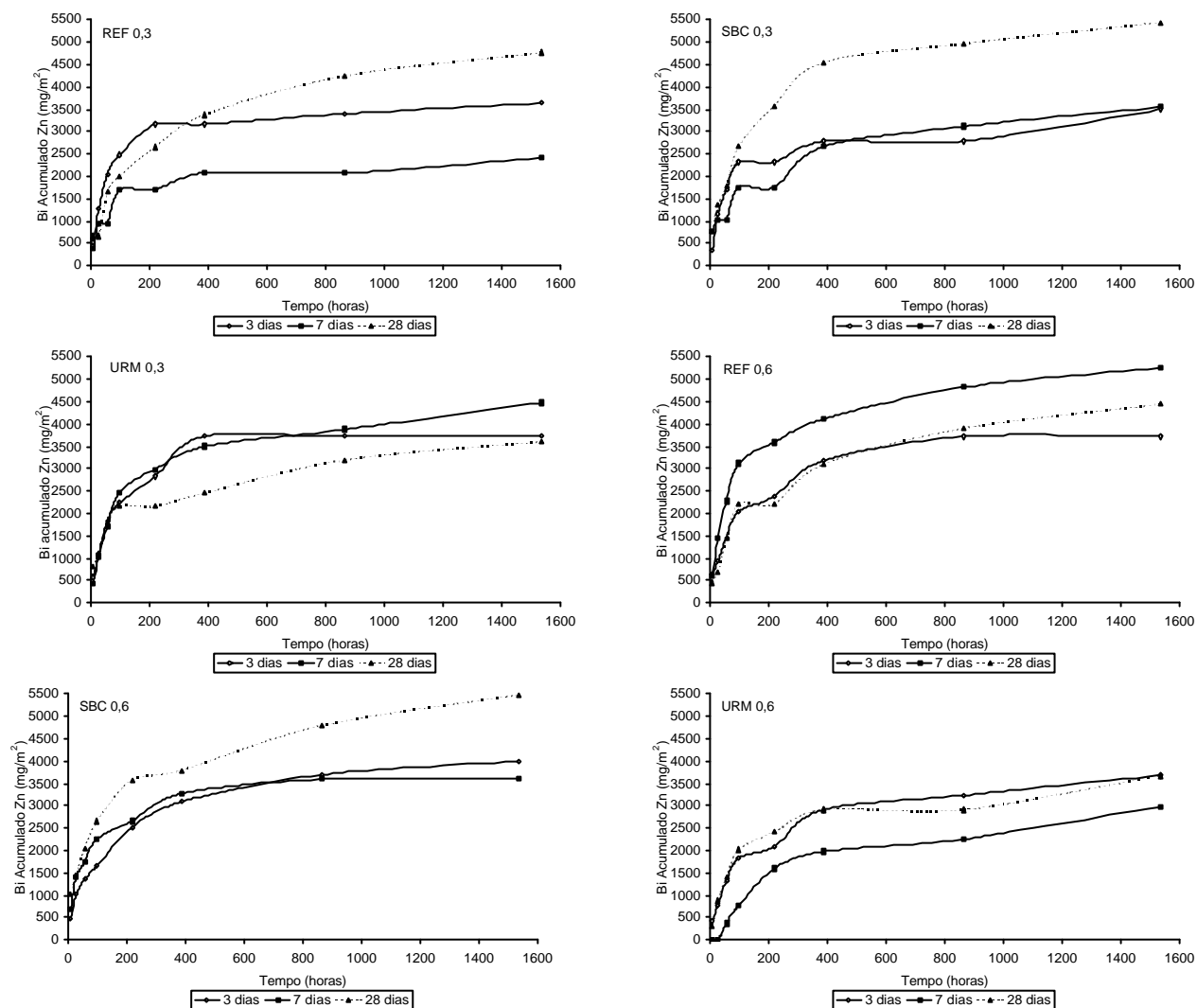


Figura 68 - Lixiviação acumulada (mg/m^2) do Zn ao longo do tempo nas argamassas REF, SBC e URM nas faixas granulométricas 0,30 e 0,60 mm

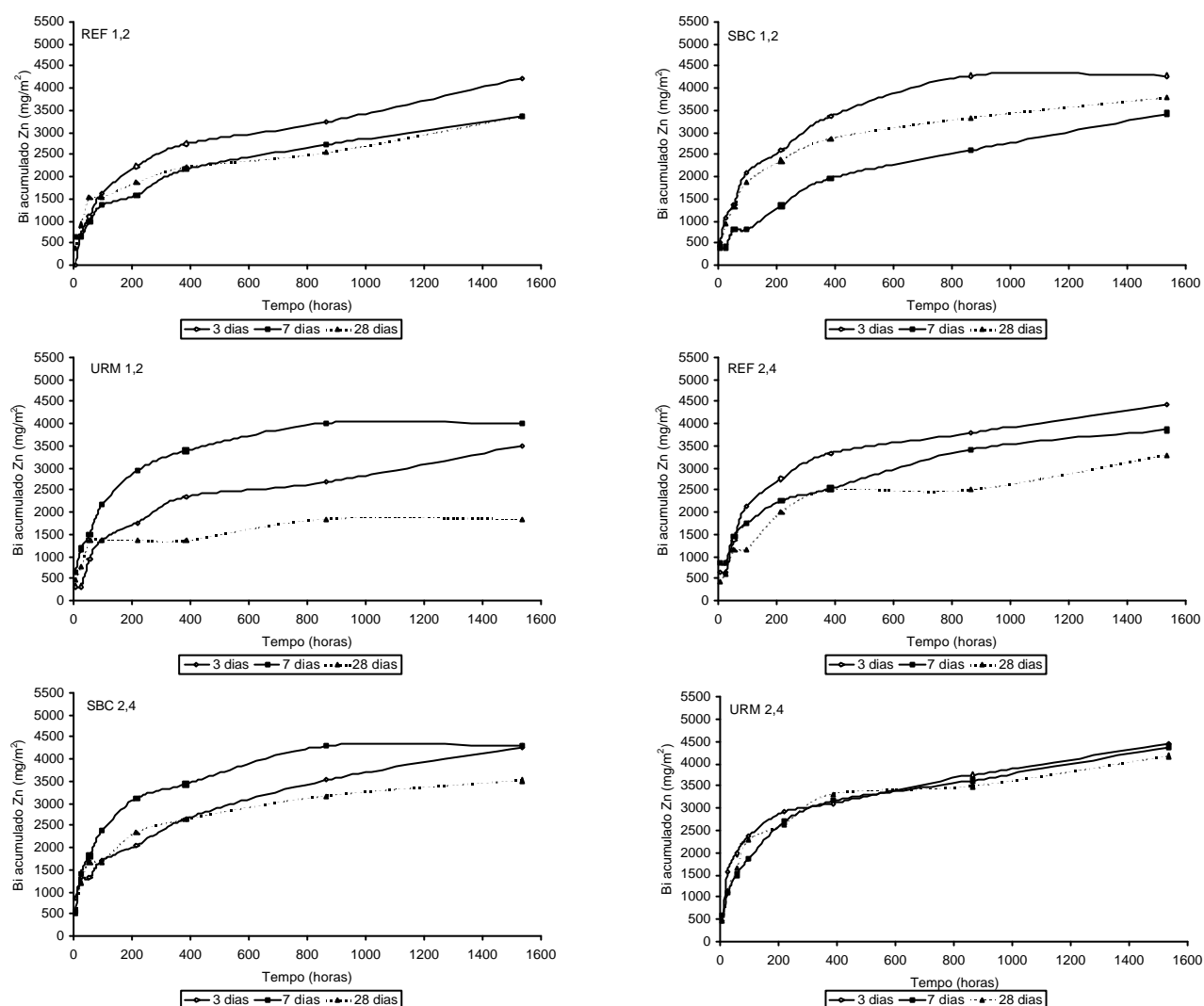


Figura 69 - Lixiviação acumulada (mg/m^2) do Zn ao longo do tempo nas argamassas REF, SBC e URM nas faixas granulométricas 1,20 e 2,40 mm

A cinética de liberação do **Fe** através do ensaio de tanque pode ser observada nas Figuras 70, 71 e 72.

De forma geral, ocorreu maior liberação de ferro nas argamassas produzidas com finos. Observa-se também que nessas argamassas, a idade de cura influenciou na liberação do **Fe** ao longo do tempo. Porém, não ocorreu uma tendência em relação a qual idade liberou mais ou menos.

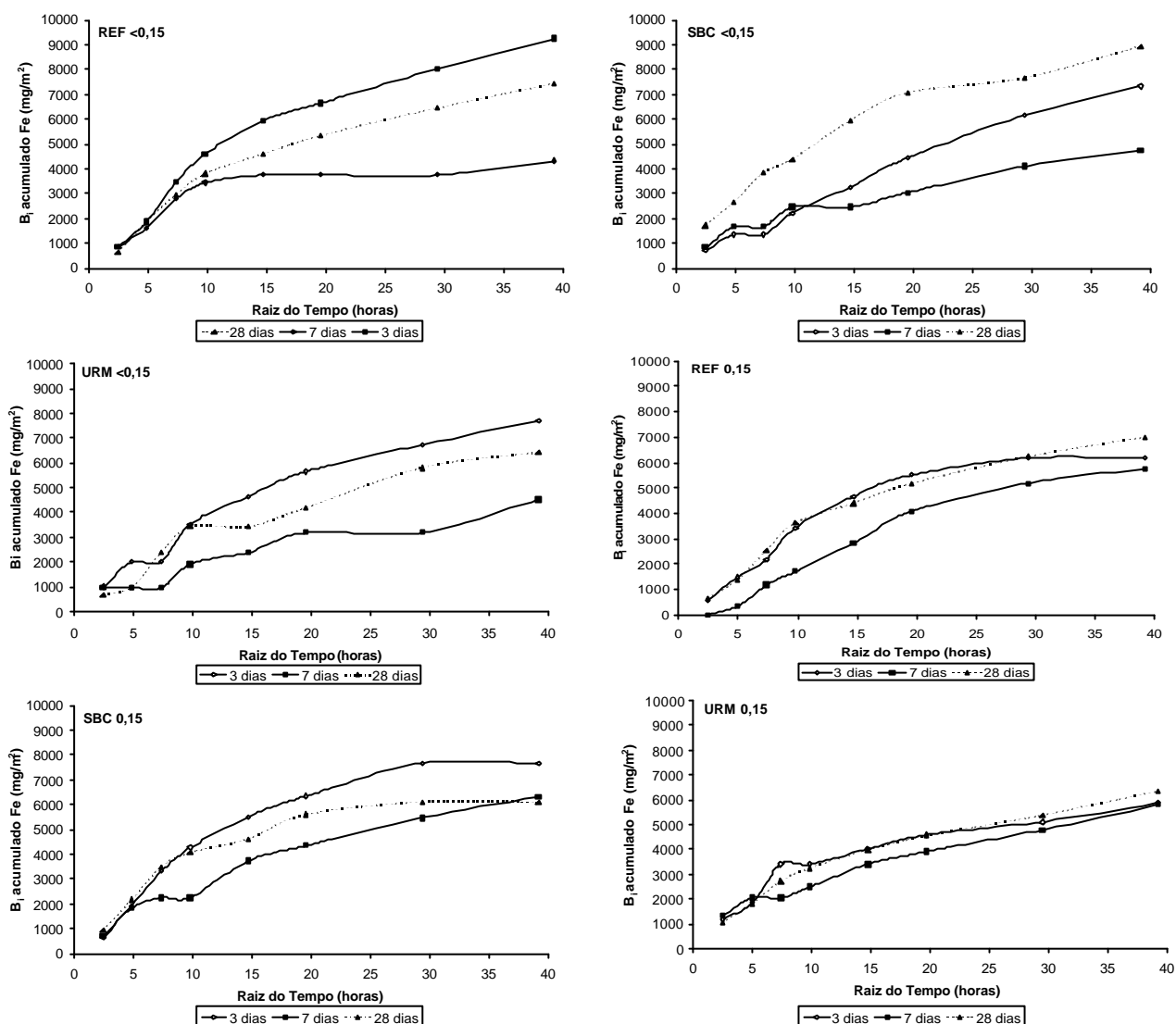


Figura 70 - Lixiviação acumulada (mg/m^2) do Fe em função da raiz do tempo (h) nas argamassas REF, SBC e URM nas frações granulométricas inferior a 0,15 e 0,15 mm

Nas argamassas com as faixas granulométricas dos agregados 0,30 e 0,60 mm não houve grande diferença na liberação do **Fe** em função da idade de cura. Isso pode ser visualizado pela superposição das curvas. Porém, de forma bem sutil as argamassas curadas durante 28 dias liberaram mais **Fe** que as demais. As argamassas URM mostraram menor liberação quando comparadas às argamassas REF e SBC.

As curvas geradas por essas argamassas foram ascendentes ao longo de todas as etapas do ensaio.

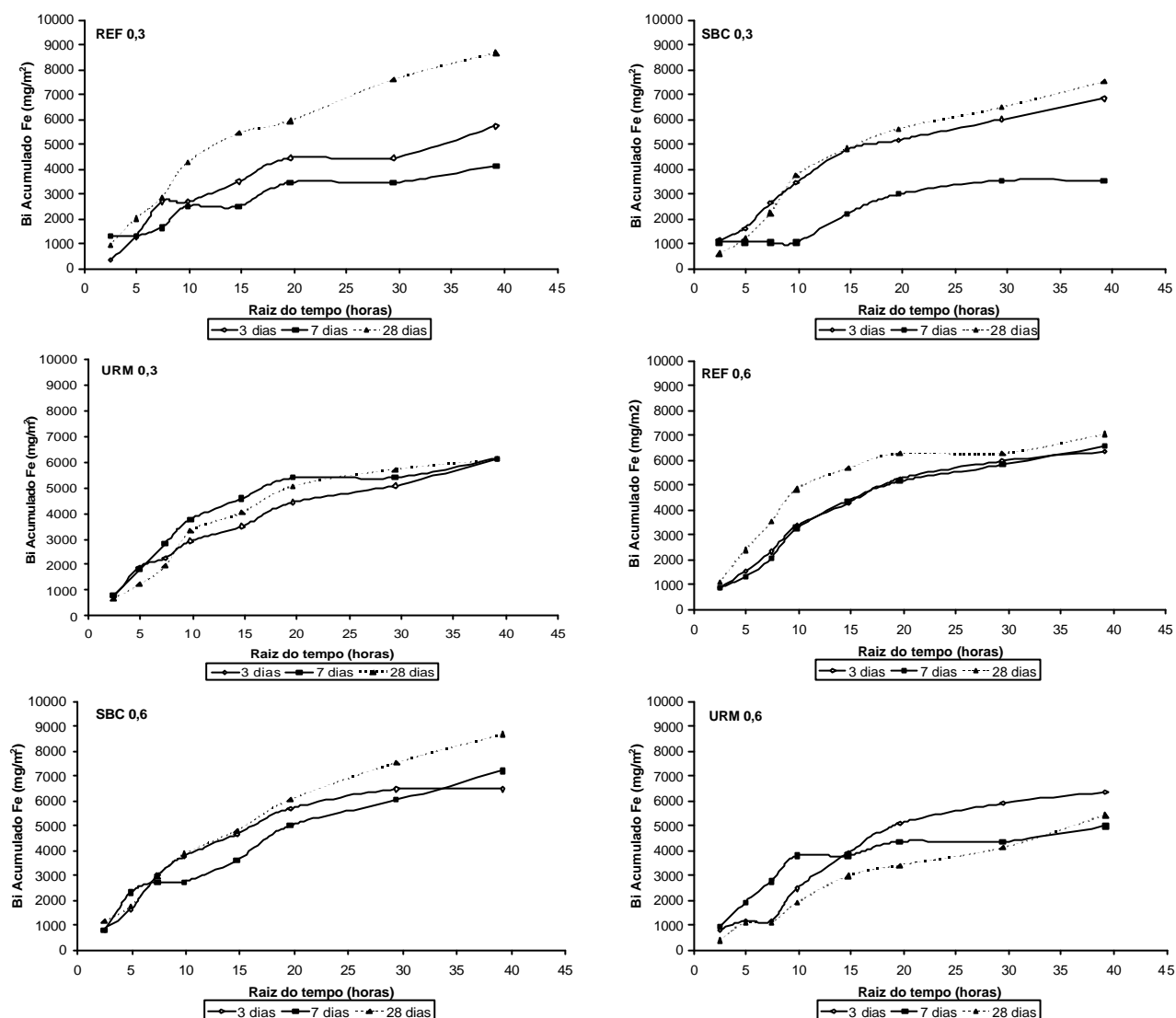


Figura 71 - Lixiviação acumulada (mg/m^2) do Fe em função da raiz do tempo (h) nas argamassas REF, SBC e URM nas frações granulométricas 0,30 e 0,60 mm

As argamassas onde foram utilizados agregados nas dimensões de 1,2 e 2,4 mm liberaram **Fe** principalmente naquelas curadas por 7 e 28 dias. A concentração aumentou em função do avanço do tempo. A curva manteve-se em ascensão até o final do ensaio. Os resultados foram bem semelhantes àqueles das argamassas produzidas com agregados de dimensões 0,3 e 0,6 mm.

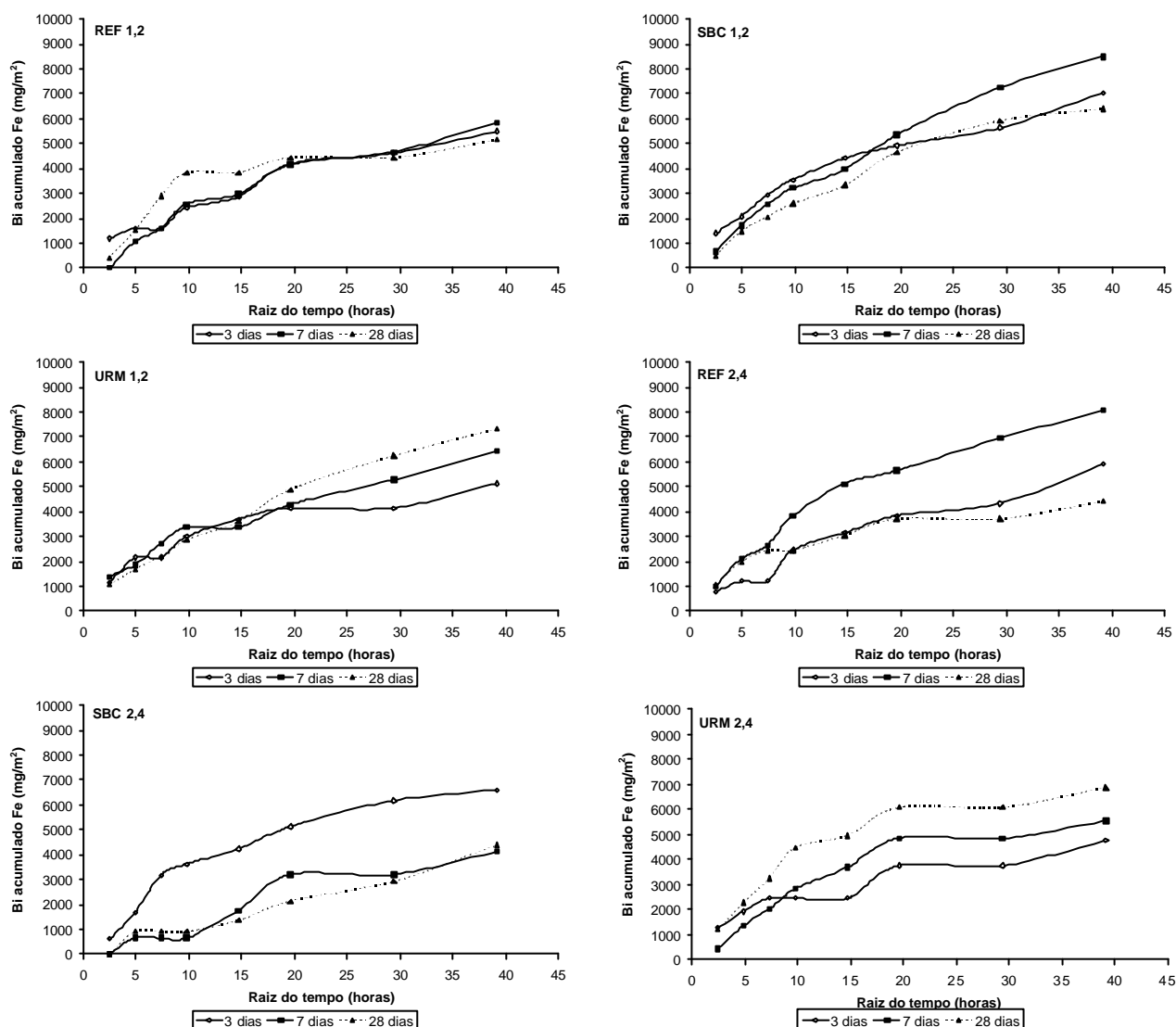


Figura 72 - Lixiviação acumulada (mg/m²) do Fe em função da raiz do tempo (h) nas argamassas REF, SBC e URM nas frações granulométricas 1,20 e 2,40 mm

4.6.2 Influência dos valores de pH e condutividade elétrica

Os valores de pH obtidos no ensaio de tanque foram alcalinos. Maiores valores foram obtidos nas primeiras horas de ensaio. Na maioria das amostras ocorreu uma queda no valor de pH em função do avanço do período de ensaio. Isso devido à exaustão do Ca(OH)_2 das argamassas. Esse decréscimo no pH foi também observado por Van Gerven *et al.* (2004). Argamassas consistem em grande parte por material silicoso, desta forma o conteúdo de Ca(OH)_2 é baixo, ocorrendo rapidamente a exaustão dos componentes alcalinos lixiviáveis.

Havia uma expectativa de que os valores de pH nas argamassas referência fossem maiores, já que aquelas com agregados reciclados consomem mais Ca(OH)_2 reduzindo a quantidade de íons hidroxilas e conseqüentemente indicando valores menores de pH. Isso não foi verificado nas amostras analisadas, os valores de pH

das argamassas com agregados reciclados e agregado normal foram bem semelhantes.

As argamassas com idade de 28 dias mostraram valores de pH superiores aos demais. As argamassas produzidas com agregados reciclados URM mostraram valores de pH inferiores aos obtidos nas argamassas REF e SBC. Ainda em relação à idade das argamassas esperava-se que àquelas com 3 dias mostrassem maiores valores de pH em função da maior quantidade de hidroxilas disponíveis, entretanto isso não foi observado.

Os valores de pH obtidos ao longo do tempo de ensaio nas argamassas produzidas com finos de agregado reciclado estão representados na Figura 73.

As argamassas curadas por 28 dias mostraram uma redução no valor de pH após 500 horas de ensaio, essa queda foi mais sutil nas argamassas URM. Com exceção das argamassas URM, as amostras produzidas com as frações mais finas de agregado, curadas por 3 e 7 dias, mostraram um aumento no pH após 1000 horas de ensaio.

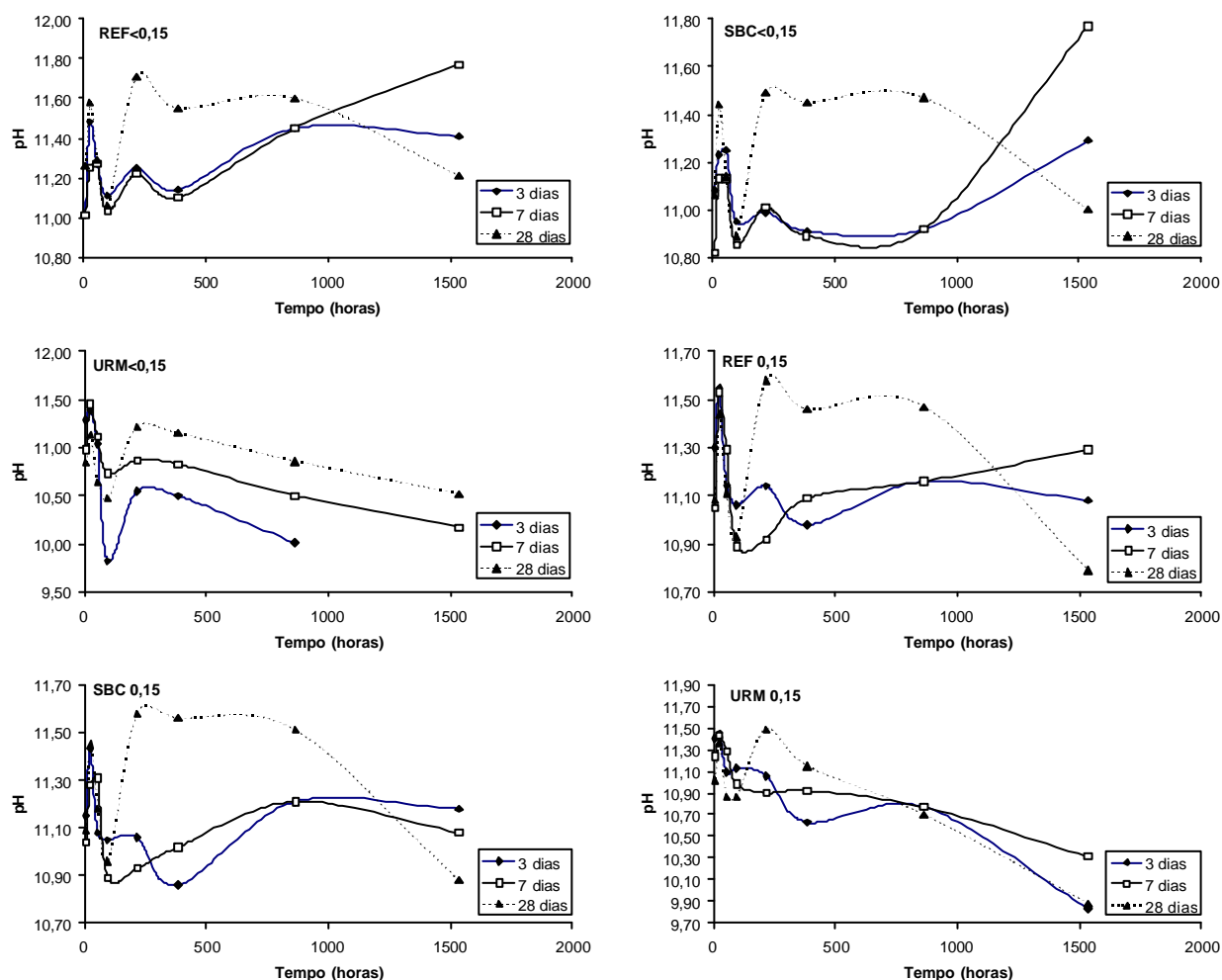


Figura 73 – Valores de pH ao longo do tempo nas argamassas produzidas com agregados de dimensões inferior a 0,15 e 0,15 mm

Da mesma forma que nas argamassas elaboradas com as frações mais finas dos agregados reciclados, aquelas com frações 0,30; 0,60; 1,20 e 2,40 mm

apresentaram, em geral, as mesmas características, conforme Figuras 74 e 75. Maiores valores de pH foram atingidos pelas argamassas com idade de 28 dias e diminuição desses valores com o avanço do tempo de ensaio. As argamassas com 3 e 7 dias, mostraram com 100 horas de ensaio queda nos valores de pH e após 1000 horas aumento. As argamassas URM apresentaram diminuição dos valores de pH ao longo do período de ensaio.

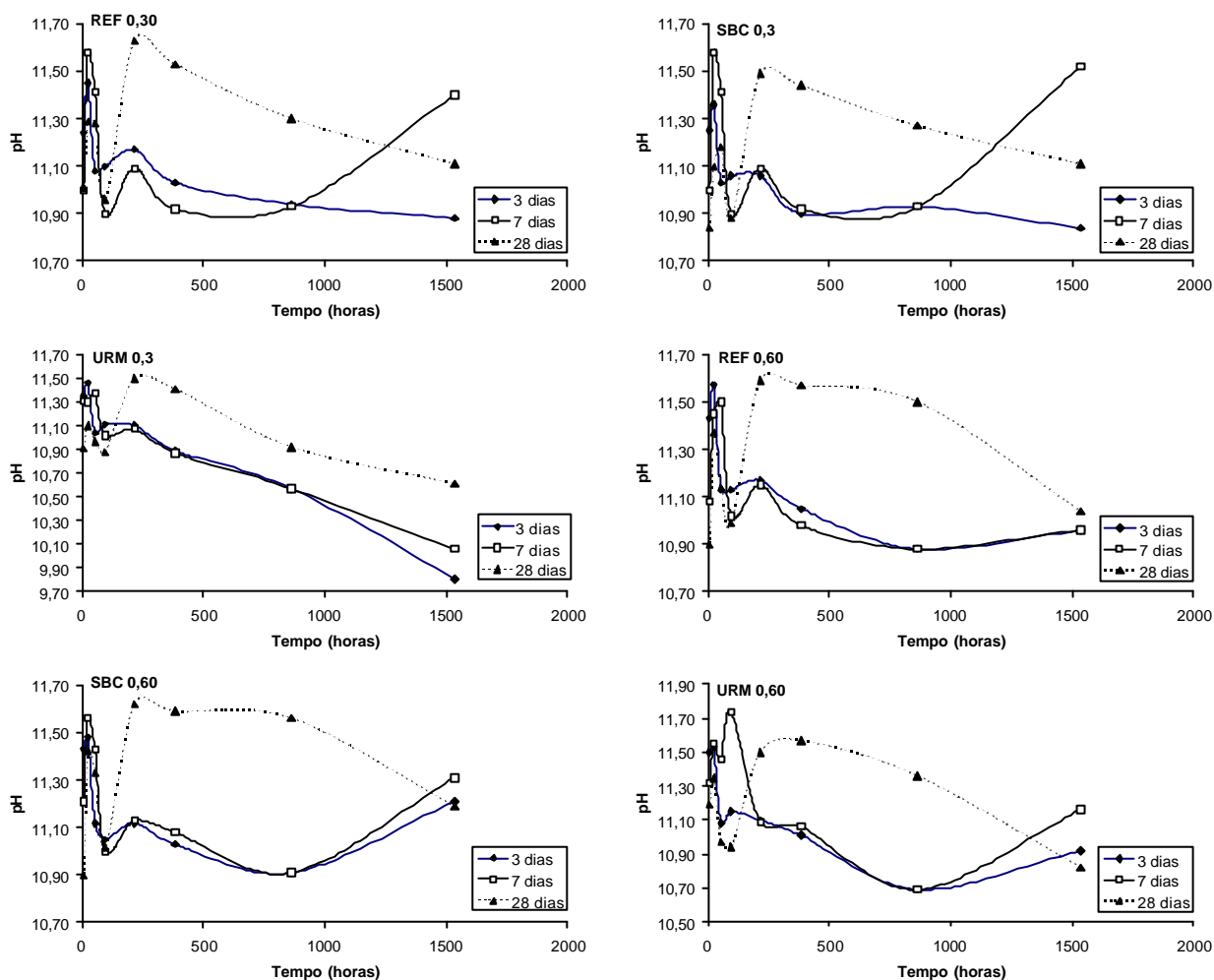


Figura 74 - Valores de pH ao longo do tempo nas argamassas produzidas com agregados de dimensões 0,30 e 0,60 mm

As deflexões identificadas na cinética de liberação dos metais pesados e abordadas no item 4.6.1.3 podem ser relacionadas ao segundo pico de subida do pH que ocorre na grande maioria das amostras. Como exemplo, pode-se visualizar a amostra SBC 0,30, destacada também anteriormente para o metal **As** (Figura 55). Essa amostra mostra uma curva acentuada nas primeiras horas de ensaio e posteriormente uma queda sutil na concentração ao longo do tempo. Nesse momento de declínio da concentração é onde ocorre a subida do pH. O pH que tem uma curva ascendente nas primeiras horas, queda em aproximadamente 24 horas de ensaio, com 200 horas subida acentuada no valor de pH. Essa cinética se repetiu em várias amostras e pode estar relacionada com as concentrações obtidas.

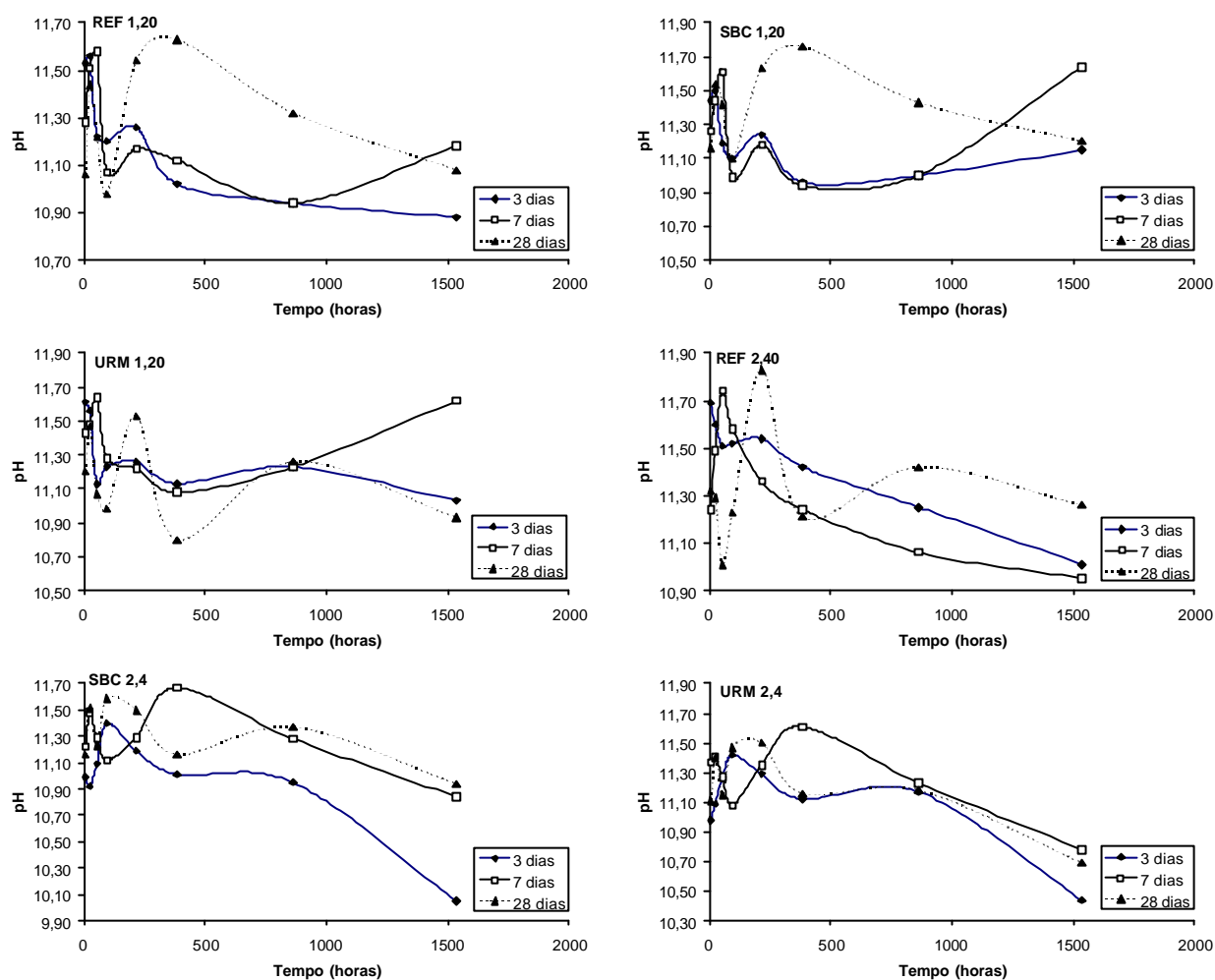


Figura 75 - Valores de pH ao longo do tempo nas argamassas produzidas com agregados de dimensões 1,20 e 2,40 mm

Nas Figuras 76, 77 e 78 mostra-se uma tentativa de relação entre a concentração do **Ca** e o pH. Não foi possível verificar uma tendência entre esses dois fatores. Em determinada faixa de pH a concentração foi alta para uma amostra específica, porém nessa mesma faixa de pH ocorreram baixas concentrações.

Os valores obtidos apresentam-se espalhados na faixa de pH entre 9,80 e 11,80.

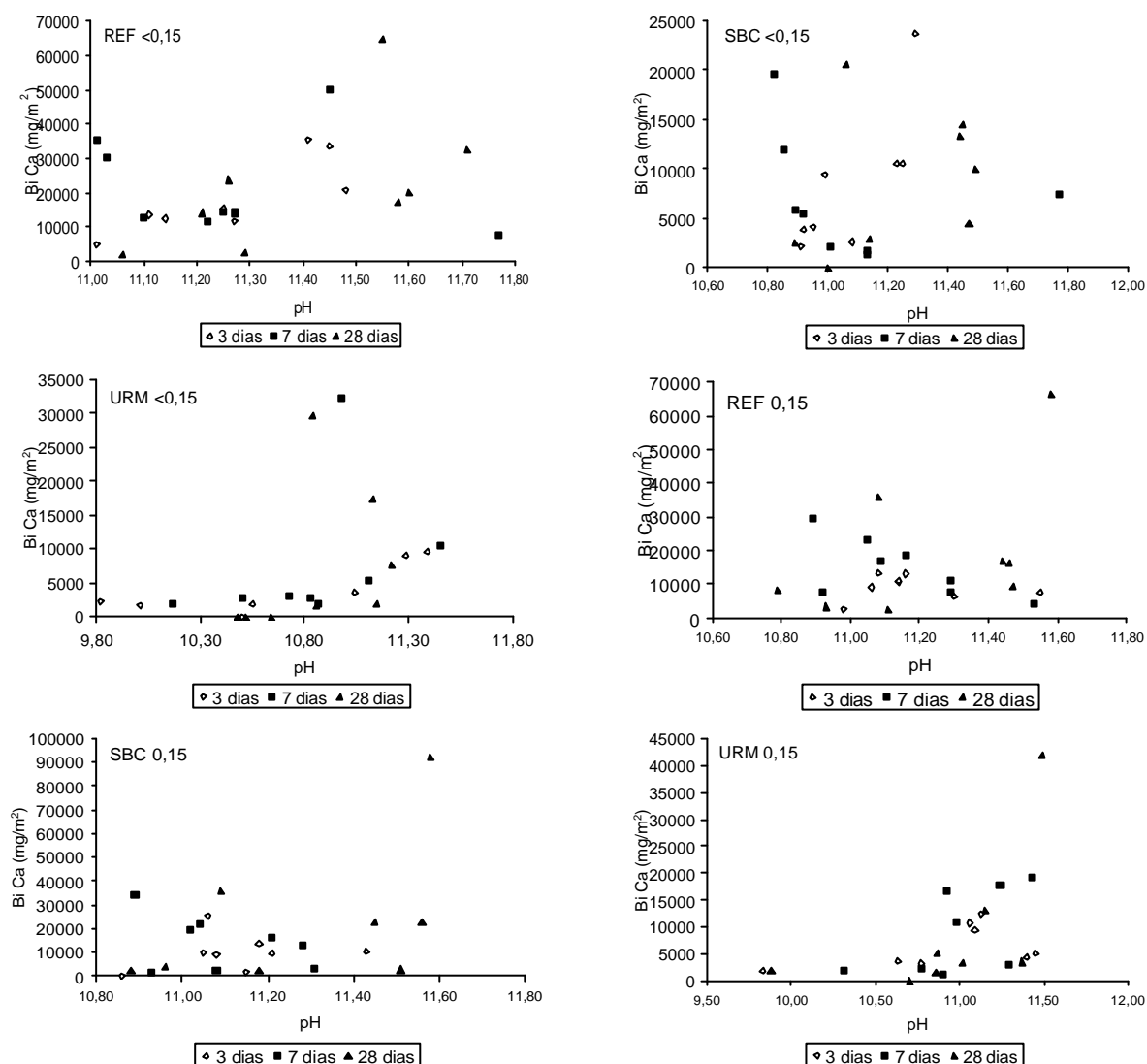


Figura 76 – Concentração do Ca (mg/m²) em função do pH nas argamassas REF, SBC e URM nas frações granulométricas inferior à 0,15 e 0,15 mm

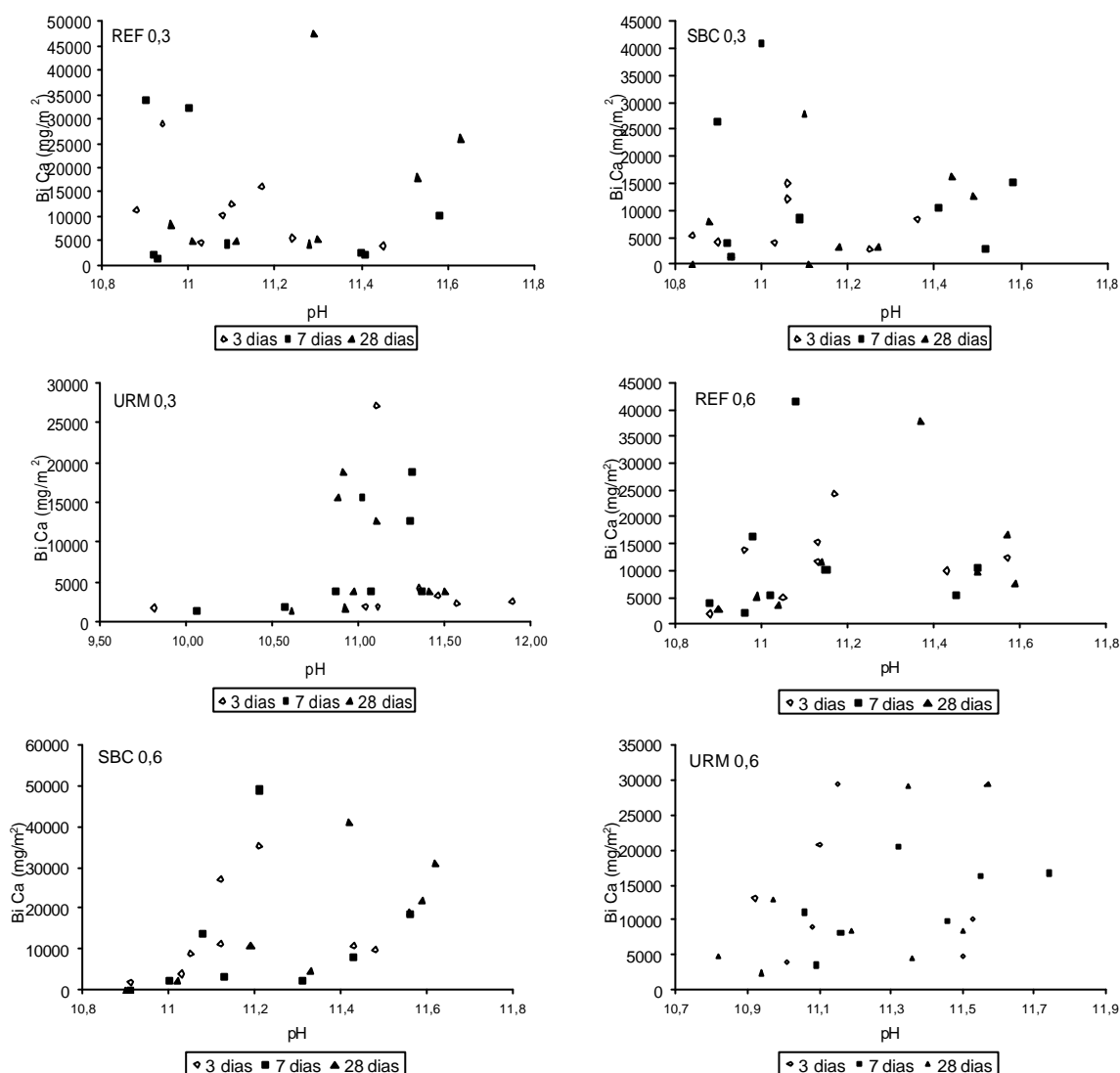


Figura 77 - Concentração do Ca (mg/m^2) em função do pH nas argamassas REF, SBC e URM nas frações granulométricas 0,30 e 0,60 mm

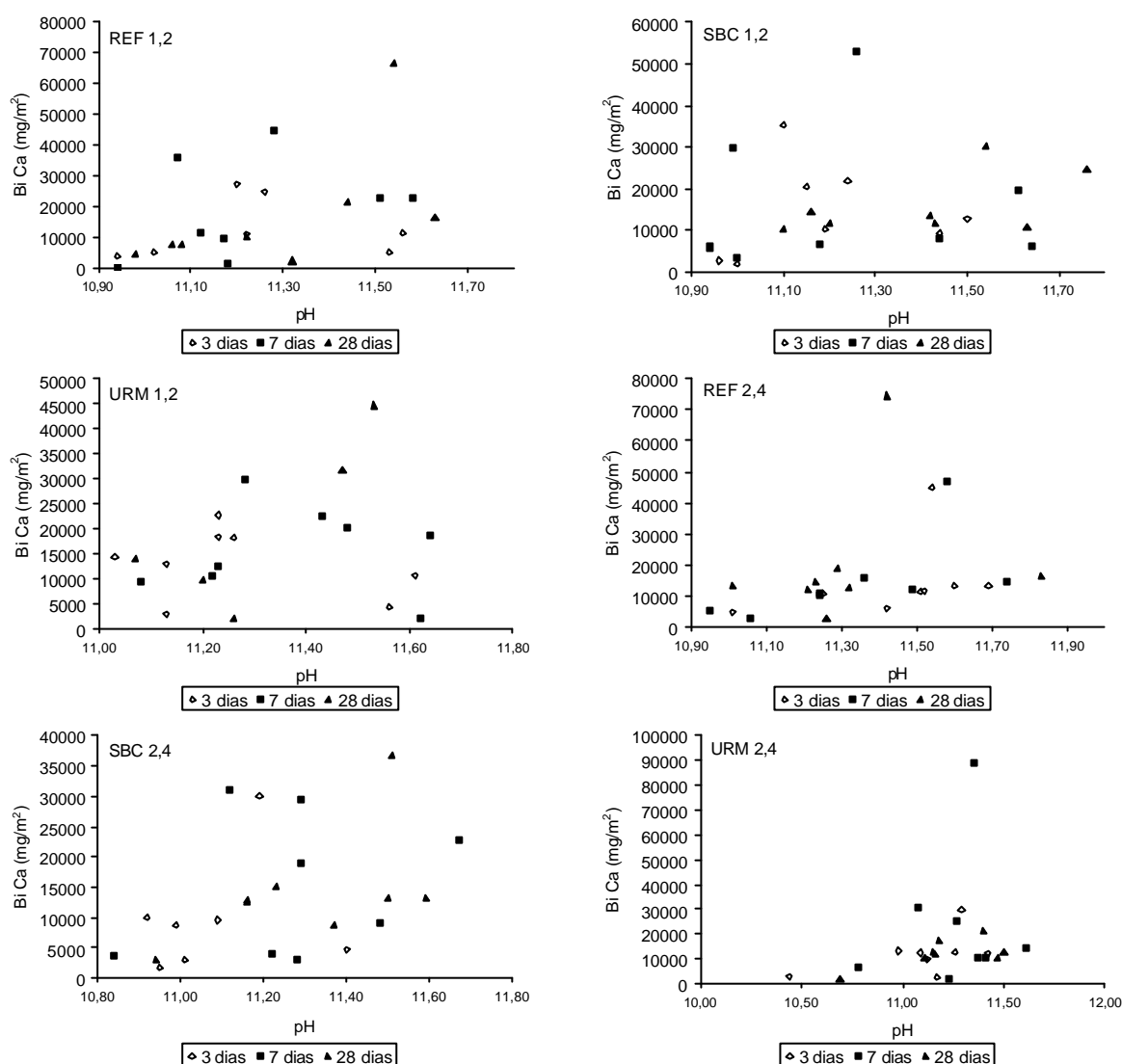


Figura 78 - Concentração do Ca (mg/m^2) em função do pH nas argamassas REF, SBC e URM nas frações granulométricas 1,20 e 2,40 mm

Os valores de condutividade elétrica, medida em extrato lixiviado obtido no ensaio de tanque, são mostrados nas Figuras 79, 80 e 81. A condutividade elétrica variou em função da amostra e também em função do avanço do período de ensaio.

Os valores mantiveram-se entre 0,5 e 2 mS/cm, com exceção de algumas amostras com idade de 28 dias que mostraram algumas variações nos valores de condutividade em aproximadamente 800 horas de ensaio. Os valores de condutividade variaram mais nas etapas iniciais do ensaio, indicando que esse foi o período em que mais íons foram liberados para o lixiviante. De forma geral, maiores valores de condutividade foram apresentados pelas argamassas com 28 dias.

As amostras URM, nas argamassas com finos, mostraram valores de condutividade elétrica inferiores às demais amostras (REF e SBC). Pode-se facilmente observar que as amostras URM apresentaram uma redução dos valores de condutividade em função do avanço do tempo. Isso pode ser explicado pelas características dos agregados URM que possuíam menor quantidade de partículas de cimento aderidas, assim sendo menor quantidade de potlandita foram lixiviadas das argamassas conduzindo a valores menores de condutividade elétrica.

Pode-se visualizar também que a condutividade elétrica dessas amostras manteve-se praticamente constante após 200 horas de ensaio, enquanto as amostras REF e SBC mostraram aumento sutil após esse período.

Em geral, o mesmo observado para as argamassas com finos foi observado nas argamassas com agregados nas dimensões 0,30 e 0,60.

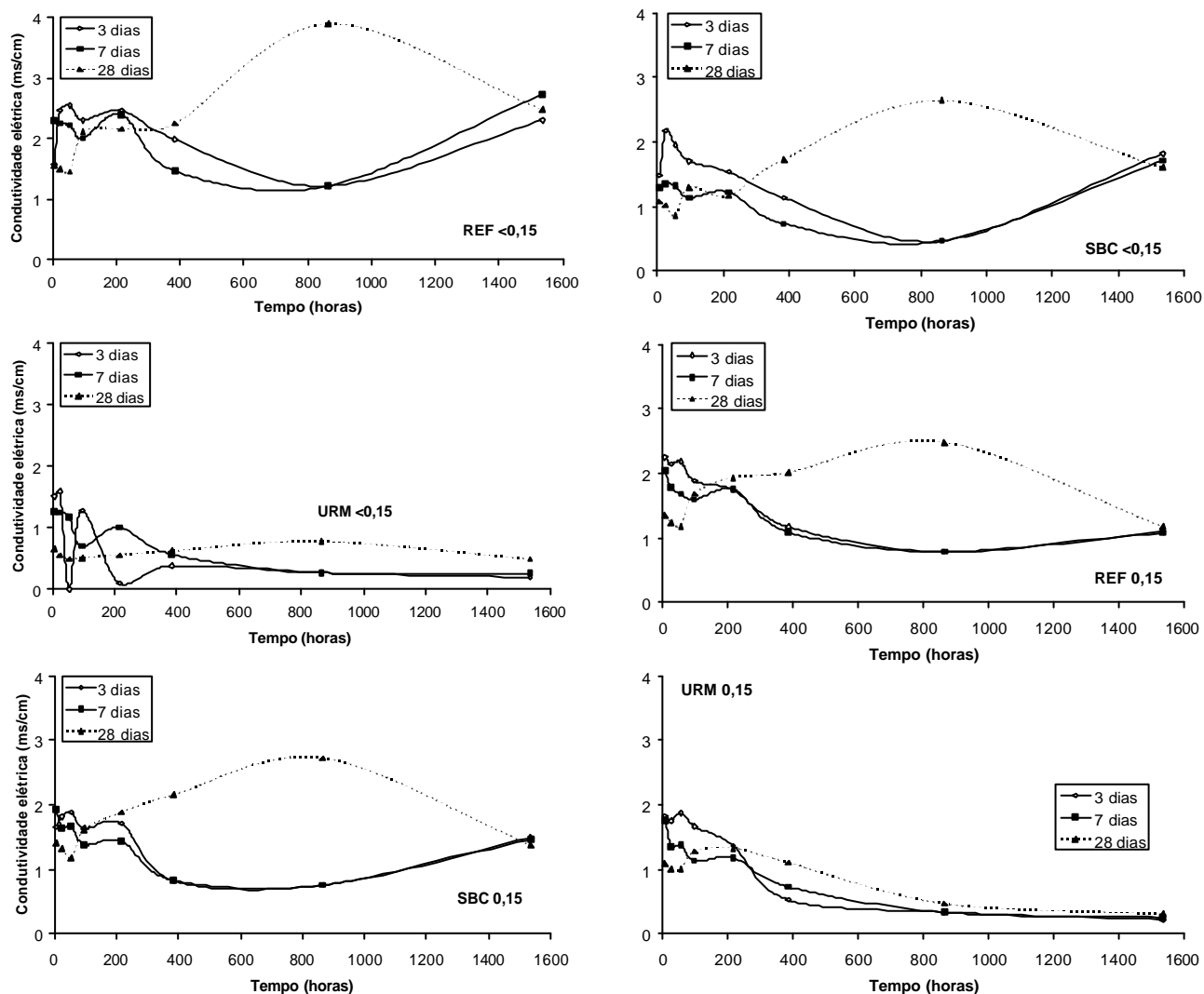


Figura 79 – Condutividade elétrica em função tempo (horas) nas argamassas REF, SBC e URM com agregados nas frações inferior à 0,15 e 0,15 mm

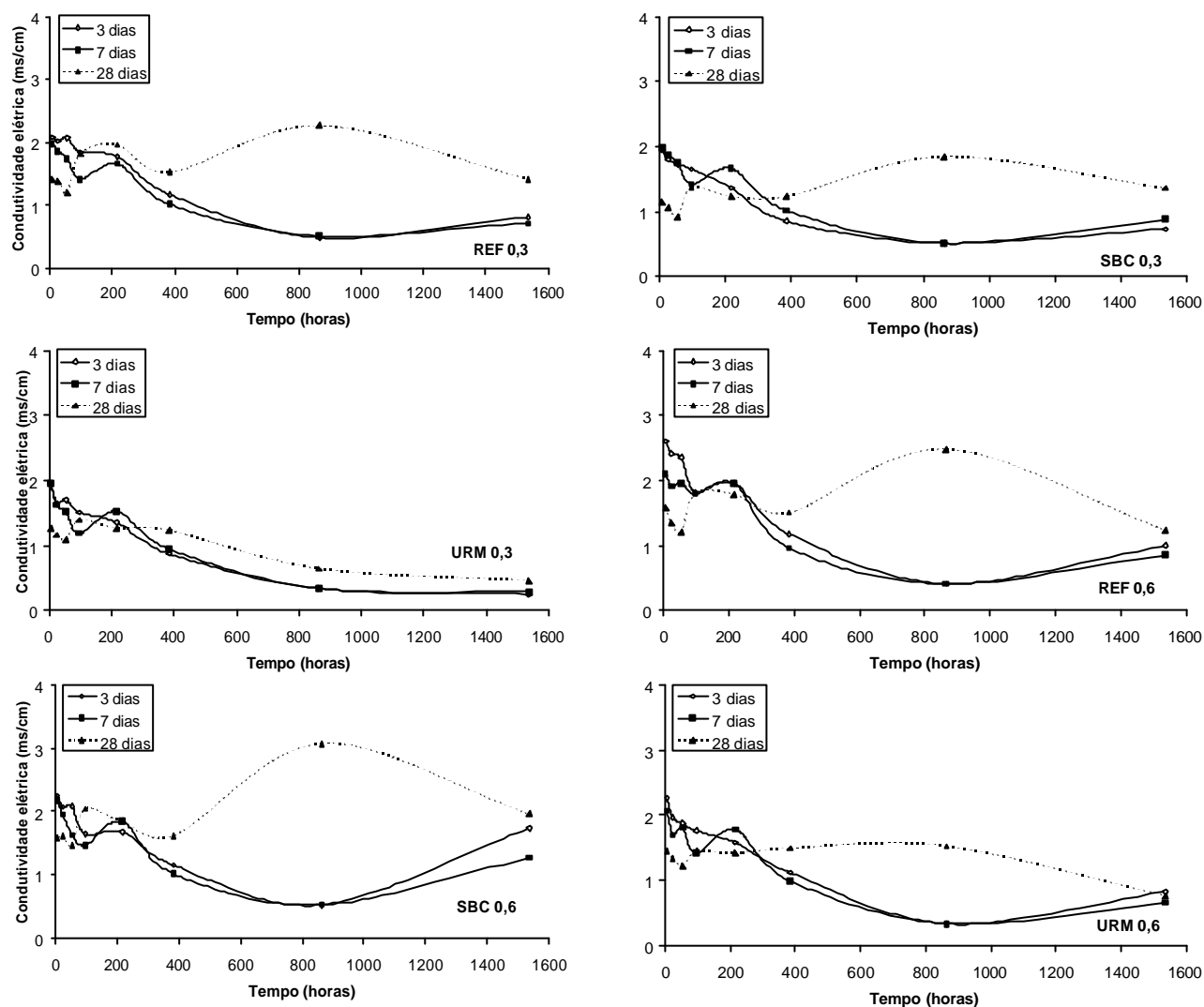


Figura 80 - Condutividade elétrica em função do tempo (horas) nas argamassas REF, SBC e URM com agregados nas frações 0,30 e 0,60 mm

Em comparação às argamassas com finos os valores de condutividade elétrica nas argamassas com agregados de dimensões 1,20 e 2,40 mm foram superiores, principalmente nas primeiras horas de ensaio mantendo-se entre 1 e 3 mS/cm. As argamassas curadas por 28 dias mostraram maiores valores de condutividade elétrica.

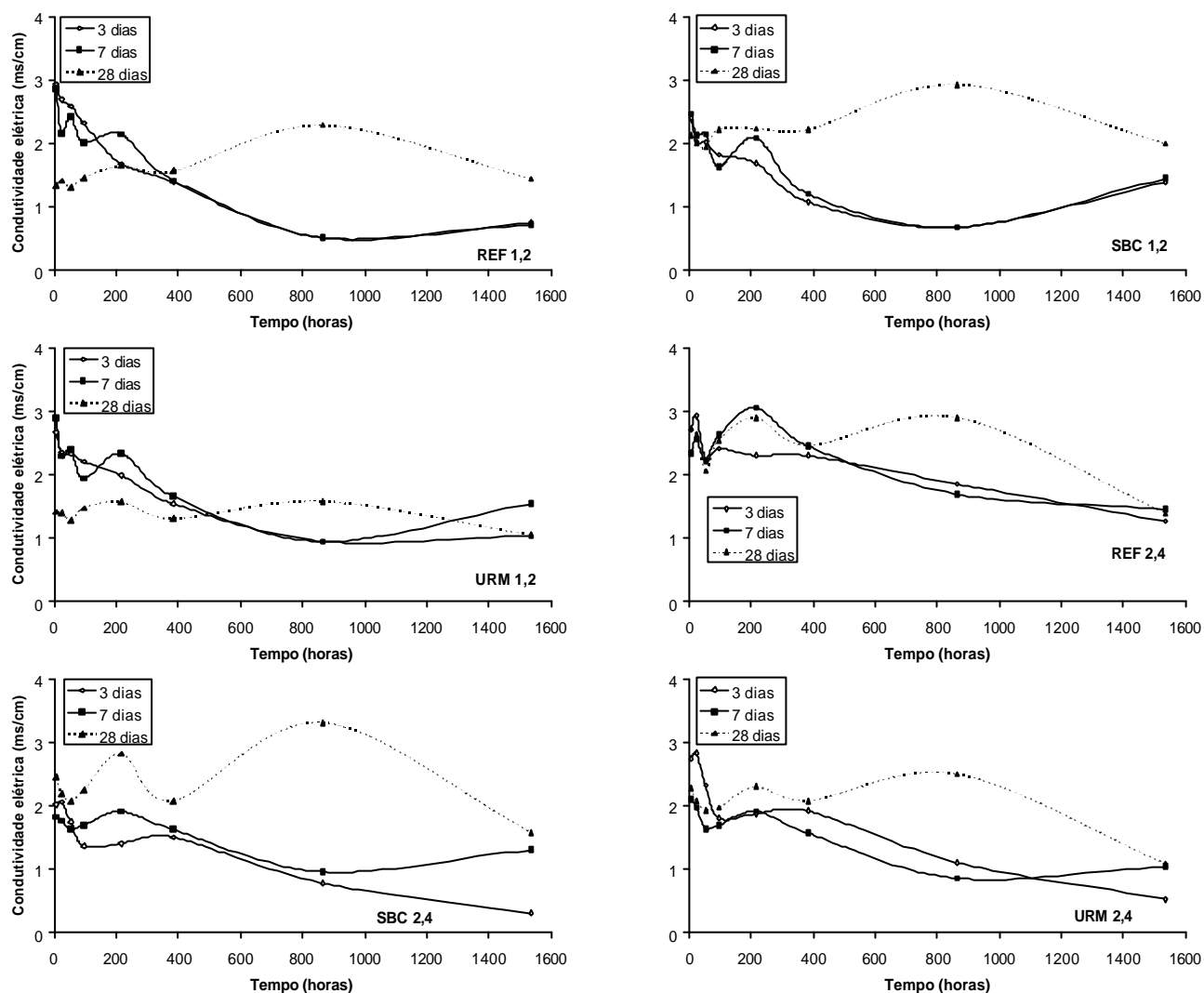


Figura 81 - Condutividade elétrica em função do tempo (horas) nas argamassas REF, SBC e URM com agregados nas frações 0,30 e 0,60 mm

4.6.3 Difusividade

Avaliando as curvas logarítmicas da concentração do CI, elemento inerte, através da regressão linear em função do logaritmo do tempo, pode-se estabelecer o mecanismo que governa a lixiviação: dissolução (DS), lavagem superficial (LS) e difusão (DF).

Desta forma, nas Tabelas 37, 38 e 39 são apresentados os valores da difusividade para os vinte elementos analisados nos extratos lixiviados das amostras monolíticas com agregados reciclados SBC. Já, nas Tabelas 40, 41 e 42 apresentam-se os resultados obtidos para as amostras SBC nas idades de 3, 7 e 28 dias. Os valores referem-se à última etapa executada no ensaio de tanque. Nos casos em que o valor não foi detectado considerou-se o dado da etapa anterior. Foram utilizados esses valores, pois ocorre uma estabilização na difusividade nas últimas etapas do ensaio, variando pouco uma da outra. Pode-se visualizar também

nas tabelas que ocorreu uma tendência geral no mecanismo que governa a lixiviação, tendo prevalecido a difusão.

Nota-se que nas argamassas SBC o comportamento de difusividade é semelhante ao **CI** principalmente nas argamassas com finos (<0,15mm), como observado para o **As** e **Fe**. Fato que não se verifica para as amostras URM, estas que mostraram menor distinção na difusividade, em relação ao **CI**, nas argamassas com agregados de frações 2,40 mm. De forma geral, pode-se dizer que os metais pesados detectados mostram uma mobilidade iônica semelhante ao cloro.

Em comparação ao **CI**, ocorre maior variação nos valores de difusividade nas menores idades de cura, isso devido à maior movimentação iônica que ocorre nas idades iniciais.

Tabela 37 - Difusividade nas amostras SBC com idade de 3 dias (m^2/s)

SBC	3 dias					
	<0,15	0,15	0,3	0,6	1,2	2,4
As	1,69E-11	1,07E-11	2,90E-11	ND	1,13E-11	2,54E-12
Ca	2,56E-11	7,97E-12	3,30E-12	2,56E-11	8,62E-12	5,05E-13
Cd	2,60E-11	4,10E-12	6,08E-12	1,96E-12	1,65E-11	1,21E-11
Cl	1,50E-11	1,54E-11	1,05E-11	3,88E-12	1,75E-11	2,36E-11
Cr	2,56E-11	ND	ND	3,19E-11	1,19E-11	2,56E-11
Cu	1,12E-11	1,20E-11	2,56E-11	5,49E-12	3,01E-11	1,99E-11
Fe	1,21E-11	3,82E-11	9,77E-12	1,17E-11	2,56E-11	2,05E-12
K	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Mn	3,22E-11	2,73E-11	9,69E-12	ND	1,19E-11	1,04E-11
Nb	1,21E-11	1,75E-11	6,46E-12	ND	2,41E-11	1,75E-11
Ni	1,28E-11	3,82E-11	2,56E-11	5,76E-12	2,56E-11	1,37E-11
Rb	2,02E-11	1,14E-11	1,38E-11	8,20E-12	ND	2,06E-11
Se	1,76E-12	2,73E-11	2,56E-11	1,74E-12	2,56E-11	1,08E-11
Sn	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Sr	5,01E-12	ND	1,17E-11	ND	2,56E-11	8,71E-12
Ti	ND	ND	ND	ND	ND	ND
V	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Y	9,95E-12	3,25E-11	2,56E-11	1,40E-11	2,56E-11	8,46E-12
Zr	1,94E-11	ND	8,75E-12	9,70E-12	1,26E-11	2,56E-11
Zn	1,54E-11	2,11E-12	1,92E-11	2,92E-12	3,59E-11	1,95E-11
Mecanismo	LS	DF	DF	LS	DF	DF

ND, não detectado.

Tabela 38 - Difusividade nas amostras SBC com idade de 7 dias (m²/s)

7 dias						
SBC	<0,15	0,15	0,3	0,6	1,2	2,4
As	1,77E-11	2,75E-11	1,38E-11	2,56E-11	6,95E-12	2,04E-11
Ca	3,72E-12	1,07E-13	1,24E-13	6,65E-14	1,04E-12	3,72E-13
Cd	1,28E-12	2,75E-11	2,56E-12	1,60E-11	ND	1,10E-11
Cl	1,43E-11	5,63E-12	9,95E-12	9,24E-12	6,42E-12	2,17E-11
Cr	1,01E-11	2,64E-11	ND	ND	2,74E-11	1,04E-11
Cu	1,72E-12	2,00E-11	4,32E-12	2,31E-11	2,10E-11	9,78E-12
Fe	1,03E-11	9,07E-12	7,87E-12	1,51E-11	2,04E-11	1,06E-11
K	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Mn	9,32E-12	ND	2,56E-11	6,72E-12	2,06E-11	ND
Nb	2,56E-11	2,75E-11	2,56E-11	3,59E-11	ND	7,45E-12
Ni	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Rb	6,18E-12	4,62E-12	2,56E-11	2,85E-11	ND	2,56E-11
Se	5,96E-12	1,92E-11	5,15E-12	2,56E-11	9,80E-12	8,75E-12
Sn	7,98E-12	9,62E-12	5,15E-12	9,38E-12	6,79E-11	2,56E-11
Sr	1,38E-11	1,04E-11	5,92E-12	ND	1,61E-11	1,45E-11
Ti	3,59E-11	ND	1,32E-11	ND	ND	ND
V	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Y	3,61E-12	7,42E-12	ND	2,56E-11	5,12E-12	7,33E-12
Zr	6,81E-12	2,09E-11	3,82E-12	7,97E-12	1,12E-11	1,79E-11
Zn	8,23E-12	1,18E-11	ND	7,34E-12	2,93E-11	3,59E-11
Mecanismo	DF	DF	DF	DF	DF	LS

ND, não detectado.

Tabela 39 - Difusividade nas amostras SBC com idade de 28 dias (m²/s)

28 dias						
SBC	<0,15	0,15	0,3	0,6	1,2	2,4
As	1,93E-11	2,00E-11	2,56E-11	2,56E-11	3,68E-11	3,59E-11
Ca	1,70E-12	1,61E-14	5,29E-13	1,87E-12	1,79E-12	1,67E-13
Cd	6,20E-12	2,71E-11	2,28E-11	1,67E-11	7,21E-12	1,20E-11
Cl	1,34E-11	1,75E-11	1,66E-11	8,61E-12	7,83E-12	7,25E-12
Cr	1,54E-11	ND	2,56E-11	2,41E-11	3,23E-11	2,56E-11
Cu	2,56E-11	1,43E-11	1,35E-11	7,56E-12	8,33E-12	1,72E-11
Fe	1,35E-11	5,42E-12	1,25E-11	1,49E-11	3,31E-12	2,56E-11
K	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Mn	2,56E-11	6,97E-12	2,56E-11	1,41E-11	ND	2,56E-11
Nb	1,53E-11	2,71E-11	5,13E-12	1,45E-11	ND	2,94E-12
Ni	1,72E-11	2,71E-11	4,37E-12	ND	1,50E-11	2,56E-11
Rb	1,58E-11	2,12E-11	1,73E-11	5,80E-12	2,16E-11	2,51E-11
Se	1,08E-11	2,71E-11	2,36E-11	2,26E-11	3,78E-12	6,11E-12
Sn	2,30E-11	3,82E-12	6,41E-12	2,05E-11	2,60E-11	4,37E-12
Sr	2,85E-12	1,26E-11	3,31E-11	1,08E-11	1,11E-11	3,59E-11
Ti	ND	ND	ND	ND	ND	ND
V	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Y	6,72E-12	ND	5,25E-12	9,81E-12	1,23E-11	1,19E-11
Zr	ND	1,33E-11	8,98E-12	1,06E-11	5,65E-12	2,01E-11
Zn	3,47E-11	6,68E-12	6,16E-12	1,14E-11	1,52E-11	1,21E-11
Mecanismo	DS	DF	DF	DF	DF	LS

ND, não detectado.

Tabela 40 - Difusividade nas amostras URM com idade de 3 dias (m^2/s)

3 dias						
URM	<0,15	0,15	0,3	0,6	1,2	2,4
As	ND	3,99E-12	1,11E-11	ND	ND	9,42E-12
Ca	7,41E-13	5,80E-13	1,08E-13	5,07E-12	1,03E-11	2,38E-13
Cd	1,93E-11	3,56E-12	4,99E-12	2,56E-11	2,56E-11	2,56E-11
Cl	7,22E-12	1,29E-11	1,53E-11	1,24E-11	1,68E-11	2,03E-11
Cr	2,56E-11	2,56E-11	ND	ND	2,56E-11	1,24E-11
Cu	2,21E-11	1,28E-11	1,97E-11	1,94E-11	1,85E-11	2,32E-11
Fe	1,03E-11	1,11E-11	2,00E-11	2,65E-12	1,96E-11	1,58E-11
K	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Mn	2,56E-11	ND	3,59E-11	2,56E-11	ND	2,56E-11
Nb	2,56E-11	1,27E-11	1,89E-11	3,32E-12	9,42E-12	1,09E-11
Ni	1,33E-11	ND	2,56E-11	6,17E-12	1,11E-11	2,56E-11
Rb	1,17E-11	3,44E-12	6,98E-12	2,56E-11	9,31E-12	2,56E-11
Se	ND	5,53E-12	1,43E-11	2,56E-11	2,15E-11	3,59E-11
Sn	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Sr	1,32E-11	7,51E-12	1,34E-11	2,56E-11	1,04E-11	7,10E-12
Ti	ND	ND	ND	ND	ND	ND
V	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Y	1,58E-11	ND	ND	2,81E-12	ND	2,56E-11
Zr	1,04E-11	3,59E-11	ND	2,56E-11	6,83E-12	1,10E-11
Zn	2,56E-11	2,12E-11	ND	7,38E-12	2,56E-11	9,63E-12
Mecanismo	DF	DS	DS	DS	DF	LS

ND, não detectado.

Tabela 41 - Difusividade nas amostras URM com idade de 7 dias (m^2/s)

7 dias						
URM	<0,15	0,15	0,3	0,6	1,2	2,4
As	3,13E-11	2,56E-11	2,56E-11	ND	2,32E-11	8,95E-12
Ca	8,40E-14	3,16E-13	1,56E-13	4,17E-12	1,31E-13	1,45E-13
Cd	2,56E-11	2,56E-11	4,42E-12	7,20E-12	3,04E-12	2,56E-11
Cl	1,14E-11	7,59E-12	1,80E-11	ND	8,45E-12	1,34E-11
Cr	2,56E-11	2,56E-11	7,13E-12	7,46E-12	ND	ND
Cu	2,54E-11	2,31E-11	1,90E-11	2,56E-11	1,56E-11	1,39E-11
Fe	2,56E-11	1,46E-11	1,38E-11	9,17E-12	1,72E-11	9,54E-12
K	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Mn	ND	7,39E-12	7,40E-12	6,20E-12	ND	2,06E-11
Nb	2,56E-11	1,10E-11	1,30E-11	2,56E-11	4,59E-12	2,12E-11
Ni	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Rb	2,56E-11	1,42E-11	1,12E-11	1,54E-11	9,80E-12	2,50E-11
Se	2,56E-11	ND	6,38E-12	1,56E-11	ND	1,70E-11
Sn	1,16E-11	3,84E-12	9,22E-12	3,59E-11	1,66E-11	1,13E-11
Sr	1,76E-11	2,48E-12	8,62E-12	1,48E-11	ND	1,08E-11
Ti	ND	ND	ND	ND	ND	ND
V	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Y	2,59E-11	1,23E-11	3,97E-12	4,54E-12	9,74E-12	2,59E-12
Zr	3,59E-11	ND	5,21E-12	ND	3,59E-11	ND
Zn	2,56E-11	4,27E-12	1,45E-11	1,99E-11	2,30E-11	2,20E-11
Mecanismo	DF	LS	DF	DF	DF	LS

ND, não detectado.

Tabela 42 - Difusividade nas amostras URM com idade de 28 dias (m²/s)

URM	28 dias					
	<0,15	0,15	0,3	0,6	1,2	2,4
As	1,07E-11	1,72E-11	6,64E-12	ND	3,49E-12	2,50E-11
Ca	ND	6,03E-14	7,74E-14	7,10E-13	8,30E-14	1,90E-13
Cd	2,56E-11	3,05E-12	6,30E-12	5,77E-12	5,44E-12	4,60E-12
Cl	5,74E-12	1,07E-11	8,65E-12	1,40E-11	9,78E-12	5,28E-12
Cr	2,56E-11	ND	2,33E-12	ND	1,05E-11	3,59E-11
Cu	1,34E-11	2,56E-11	1,36E-11	1,99E-11	1,23E-11	1,64E-11
Fe	3,93E-12	2,29E-11	2,05E-12	2,56E-11	1,68E-11	1,06E-11
K	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Mn	ND	8,81E-12	3,17E-12	9,85E-12	ND	1,36E-11
Nb	ND	6,59E-12	4,85E-12	2,56E-11	ND	1,99E-11
Ni	ND	2,47E-11	ND	5,00E-12	2,50E-11	2,50E-11
Rb	ND	1,00E-11	3,09E-12	3,48E-12	2,11E-11	2,56E-11
Se	1,81E-11	4,08E-12	2,29E-12	1,29E-11	1,09E-11	8,07E-12
Sn	2,56E-11	1,47E-11	5,05E-12	2,56E-11	2,45E-11	8,82E-12
Sr	2,73E-12	6,58E-12	6,73E-12	1,65E-11	6,24E-12	5,67E-12
Ti	ND	ND	ND	ND	ND	ND
V	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Y	4,49E-12	1,36E-11	7,87E-12	6,24E-12	2,56E-11	2,50E-11
Zr	ND	7,25E-12	5,22E-12	2,36E-11	ND	6,17E-12
Zn	2,37E-11	9,63E-12	6,63E-12	2,56E-11	2,37E-11	ND
Mecanismo	DF	DF	DF	DF	DF	LS

ND, não detectado

Como exemplo do modelo de difusão aplicado, pode-se observar nas Figuras 82 e 83 a difusividade em função do tempo das argamassas produzidas com finos de agregados reciclados (<0,15mm) e com a fração 2,40 mm. São também apresentados os resultados de concentração obtidos ao longo dos 64 dias de ensaio para os metais pesados **Cu** e **Zn**, pois foram frequentes em quase todas as etapas em altas concentrações.

Nota-se que a difusividade dos elementos é maior nos tempos iniciais, com posterior diminuição e tendência zero até o final do ensaio. Pode-se observar também que as maiores variações das concentrações (mg/m²) ocorrem também nos períodos iniciais do ensaio. Os valores não variaram muito em função do tempo de cura.

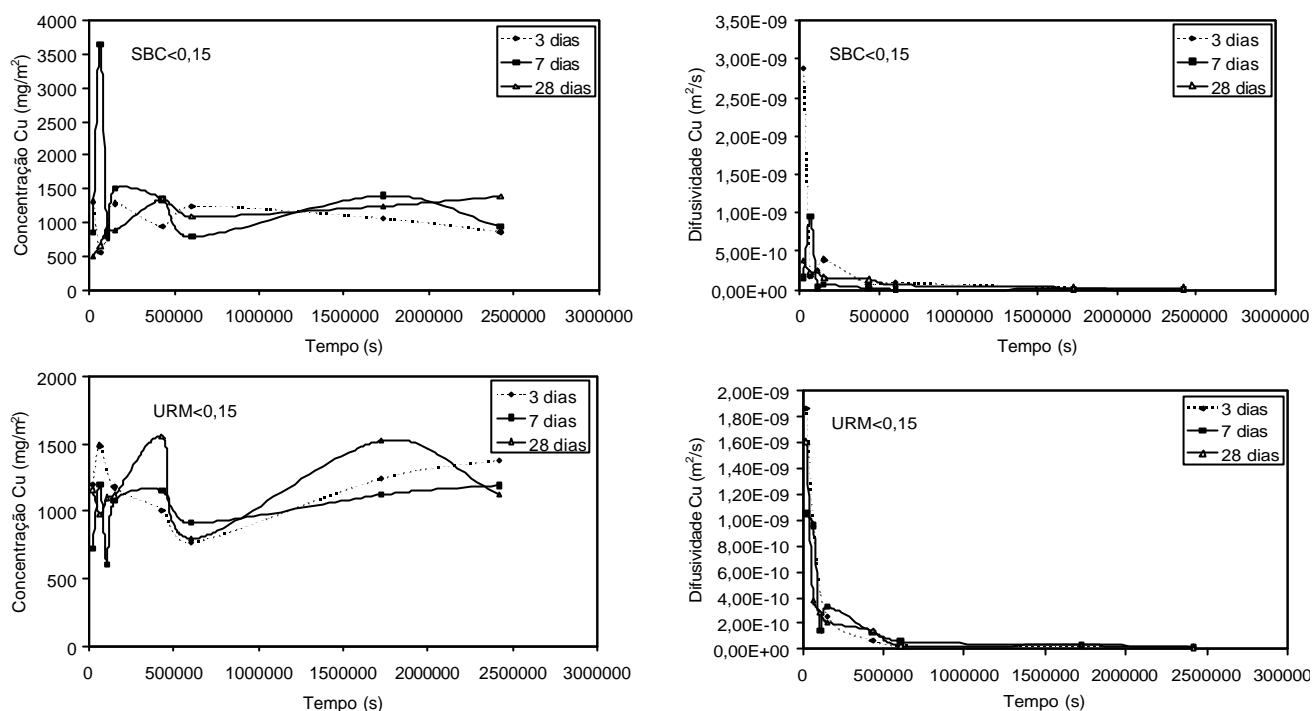


Figura 82 – Concentração (mg/m^2) e difusividade (m^2/s) do Cu em função do tempo nas argamassas SBC e URM com agregados reciclados de dimensão <0,15mm

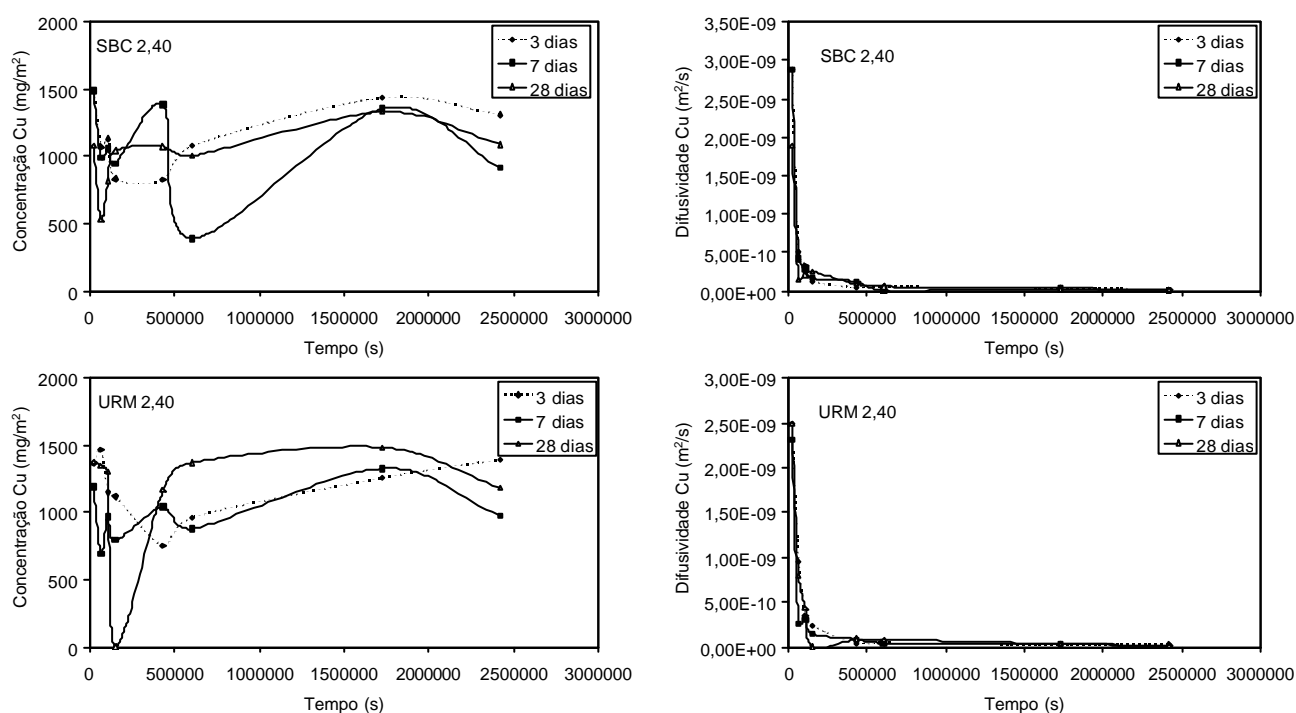


Figura 83 - Concentração (mg/m^2) e difusividade (m^2/s) do Cu em função do tempo nas argamassas SBC e URM com agregados reciclados de dimensão 2,40 mm

Pode-se dizer que na maior parte dos casos o que gerou a máxima difusividade na amostra foi também onde ocorreu a maior concentração do metal pesado. O valor máximo de difusividade foi verificado em todas as amostras nas etapas iniciais do ensaio de tanque, na primeira ou segunda etapa. Ocorre maior mobilidade iônica nas primeiras etapas do ensaio, pois quando a argamassa é disposta no lixiviante ocorre que os compostos do cimento continuam a se hidratar. Essa hidratação

diminui em função do refinamento de poros, diminuindo a mobilidade iônica ao final do ensaio. Os valores finais e máximos difusividade (m^2/s) nas amostras com agregados reciclados e idade de 28 dias são apresentados nas Tabelas 43, 44 e 45. São mostradas também as concentrações (mg/m^2) que geraram os máximos valores de difusividade.

Tabela 43 – Difusividade máxima e final das argamassas SBC e URM < 0,15 e 0,15mm, idade de 28 dias

		SBC < 0,15		URM < 0,15		SBC 0,15		URM 0,15	
		m^2/s	mg/m^2	m^2/s	mg/m^2	m^2/s	mg/m^2	m^2/s	mg/m^2
As	Máx	4,10E-10	435,867	5,74E-10	430,133	4,34E-10	435,644	2,827E-09	337,6
	Final	1,93E-11		1,07E-11		2,00E-11		1,716E-11	
Cd	Máx	1,77E-09	858,889	2,56E-11	754,133	8,02E-11	516,400	1,058E-09	665,733
	Final	6,20E-12		2,56E-11		2,71E-11		3,053E-12	
Cr	Máx	8,66E-10	601,556	1,23E-09	819,289	6,08E-10	1118,533	8,649E-10	708,800
	Final	1,54E-11		2,56E-11		ND		ND	
Cu	Máx	3,81E-10	504,089	1,61E-09	1162,933	1,55E-09	1085,333	1,084E-09	901,244
	Final	2,56E-11		1,34E-11		1,43E-11		2,564E-11	
Fe	Máx	2,87E-09	1740,622	5,11E-10	678,311	1,57E-09	1226,533	2,872E-09	1029,689
	Final	1,35E-11		3,93E-12		5,42E-12		2,294E-11	
Mn	Máx	1,41E-09	876,356	3,59E-11	859,6	5,00E-10	736,222	2,409E-10	723,422
	Final	2,56E-11		2,59E-11		6,97E-12		8,812E-12	
Ni	Máx	1,37E-09	430,844	5,78E-10	349,911	8,37E-10	373,156	9,572E-10	683,644
	Final	1,72E-11		9,74E-12		2,71E-11		2,474E-11	
Se	Máx	3,15E-10	316,933	2,87E-09	681,244	2,38E-09	422,533	9,572E-10	561,644
	Final	1,08E-11		1,81E-11		2,71E-11		4,078E-12	
Zn	Máx	4,78E-10	673,644	6,55E-10	718,311	1,59E-09	628,489	6,972E-10	745,778
	Final	3,45E-11		2,37E-11		6,68E-12		9,626E-12	

Tabela 44 - Difusividade máxima e final das argamassas SBC e URM 0,30 e 0,60mm, idade de 28 dias

		SBC 0,30		URM 0,30		SBC 0,60		URM 0,60	
		m^2/s	mg/m^2	m^2/s	mg/m^2	m^2/s	mg/m^2	m^2/s	mg/m^2
As	Máx	1,98E-10	225,244	2,87E-09	530,178	5,43E-10	178,089	2,35E-09	440,489
	Final	1,38E-11		6,64E-12		2,55E-11		ND	
Cd	Máx	2,87E-09	954,8	9,57E-10	1049,644	6,07E-10	597,600	8,77E-10	646,222
	Final	2,28E-11		6,30E-12		1,67E-11		5,77E-12	
Cr	Máx	3,16E-10	561,067	4,94E-10	611,289	6,29E-10	470,533	6,55E-10	835,067
	Final	2,56E-11		2,33E-12		2,41E-11		ND	
Cu	Máx	1,64E-09	1171,42	1,55E-09	1145,644	1,56E-09	1068,711	2,84E-09	1472,133
	Final	1,35E-11		1,36E-11		7,56E-12		1,99E-11	
Fe	Máx	4,51E-10	594,4	7,30E-10	689,911	1,71E-09	1154,4	2,83E-10	718,533
	Final	1,25E-11		2,05E-12		1,49E-11		2,56E-11	
Mn	Máx	1,87E-10	582,711	5,74E-10	1396,044	4,10E-10	911,556	2,87E-09	1250,089
	Final	2,56E-11		3,17E-12		1,41E-11		9,85E-12	
Ni	Máx	6,78E-10	380,222	2,87E-09	718,889	1,06E-09	284,222	1,08E-09	347,156
	Final	4,37E-12		ND		ND		5,00E-12	
Se	Máx	5,08E-10	232,533	2,87E-09	684,711	3,86E-10	550,489	4,44E-10	627,022
	Final	2,36E-11		2,29E-12		2,26E-11		1,29E-11	
Zn	Máx	1,89E-09	785,467	2,87E-09	810,800	2,87E-09	1037,511	5,18E-10	562,000
	Final	6,16E-12		6,63E-12		1,14E-11		2,56E-11	

Tabela 45 - Difusividade máxima e final das argamassas SBC e URM 1,20 e 2,40mm, idade de 28 dias

		SBC 1,20		URM 1,20		SBC 2,40		URM 2,40	
		m ² /s	mg/m ²	m ² /s	mg/m ²	m ² /s	mg/m ²	m ² /s	mg/m ²
As	Máx	8,141E-11	279,156	3,265E-10	461,556	1,158E-10	268,978	5,471E-10	422,356
	Final	3,680E-11		3,493E-12		3,589E-11		2,504E-11	
Cd	Máx	2,302E-10	838,756	1,299E-10	1064,889	5,743E-10	1008,800	1,561E-09	1015,778
	Final	7,213E-12		5,440E-12		1,205E-11		4,603E-12	
Cr	Máx	9,751E-11	403,511	4,102E-10	1264,222	2,409E-09	1071,644	7,043E-10	661,956
	Final	3,229E-11		1,045E-11		2,564E-11		3,589E-11	
Cu	Máx	1,886E-09	644,933	2,872E-09	1394,933	1,885E-09	1078,578	2,484E-09	1380,178
	Final	8,325E-12		1,231E-11		1,720E-11		1,636E-11	
Fe	Máx	5,023E-10	980,267	1,775E-09	1063,822	3,580E-10	904,889	2,682E-09	1185,2
	Final	3,312E-12		1,667E-11		2,564E-11		1,062E-11	
Mn	Máx	7,199E-10	854,000	2,872E-09	762,756	4,089E-10	1122,889	4,538E-10	725,244
	Final	ND		ND		2,564E-11		1,359E-11	
Ni	Máx	2,608E-10	251,600	6,662E-10	402,133	1,866E-09	541,689	2,203E-10	383,778
	Final	1,496E-11		2,500E-11		2,564E-11		2,504E-11	
Se	Máx	1,254E-09	344,222	2,872E-09	520,978	5,743E-10	545,333	5,743E-10	435,200
	Final	3,778E-12		1,091E-11		6,112E-12		8,074E-12	
Zn	Máx	1,844E-09	477,156	1,857E-09	478,800	1,408E-09	503,022	1,235E-09	446,756
	Final	1,523E-11		2,369E-11		6,244E-12		2,518E-11	

4.6.4 Análise térmica diferencial e difração de raios-X

Os resultados obtidos na análise térmica diferencial para as argamassas de 3, 7 e 28 dias são mostrados nas Figuras 84, 85 e 86.

As evidências térmicas demonstram as reações endotérmicas:

- 135 - 140⁰ C: pico etringita (E);
- 530 - 550⁰ C: portlandita (Ca(OH)₂) (P);
- 573⁰ C: transformação Quartzo $\alpha \rightarrow \beta$ (Q)

Os picos de quartzo (Q) são verificados somente nas argamassas com 3 dias. Nessas argamassas o consumo de portlandita (P) foi inferior às demais argamassas. Os picos de etringita mostram-se mais evidentes nas argamassas com 28 dias.

Nas argamassas de todas as idades identificou-se uma maior quantidade portlandita na referência (REF). Este resultado corrobora com a análise da difusividade onde o coeficiente de difusão do cálcio foi de 10 a 1000 vezes inferior ao do **CI**, considerado como inerte. Isso se verifica principalmente nas argamassas com 28 dias. O consumo de Ca(OH)₂ foi maior nas argamassas com agregado reciclado, principalmente nas URM.

Nota-se que as amostras variaram mais em função da idade de cura do que devido à dimensão do agregado reciclado utilizado na argamassa.

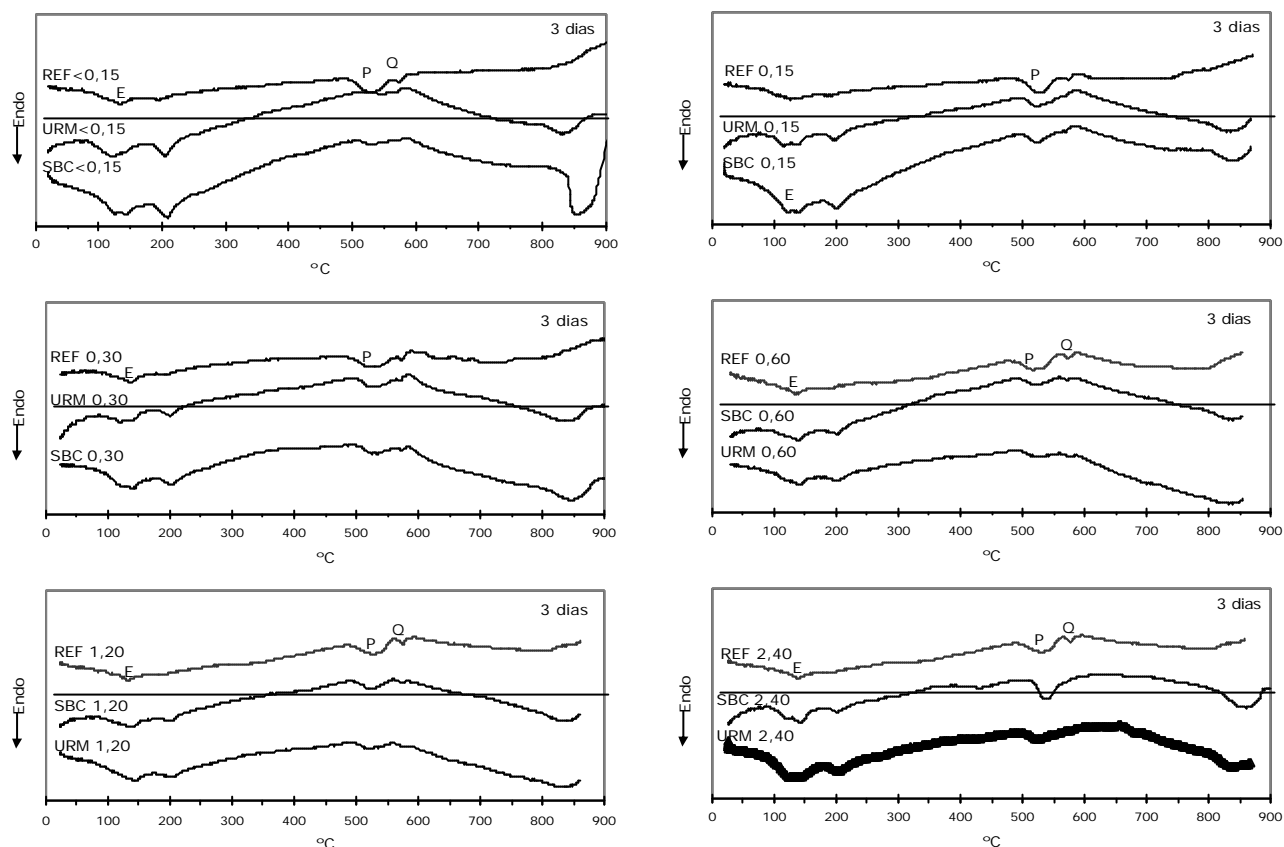


Figura 84 - ATD argamassas com 3 dias

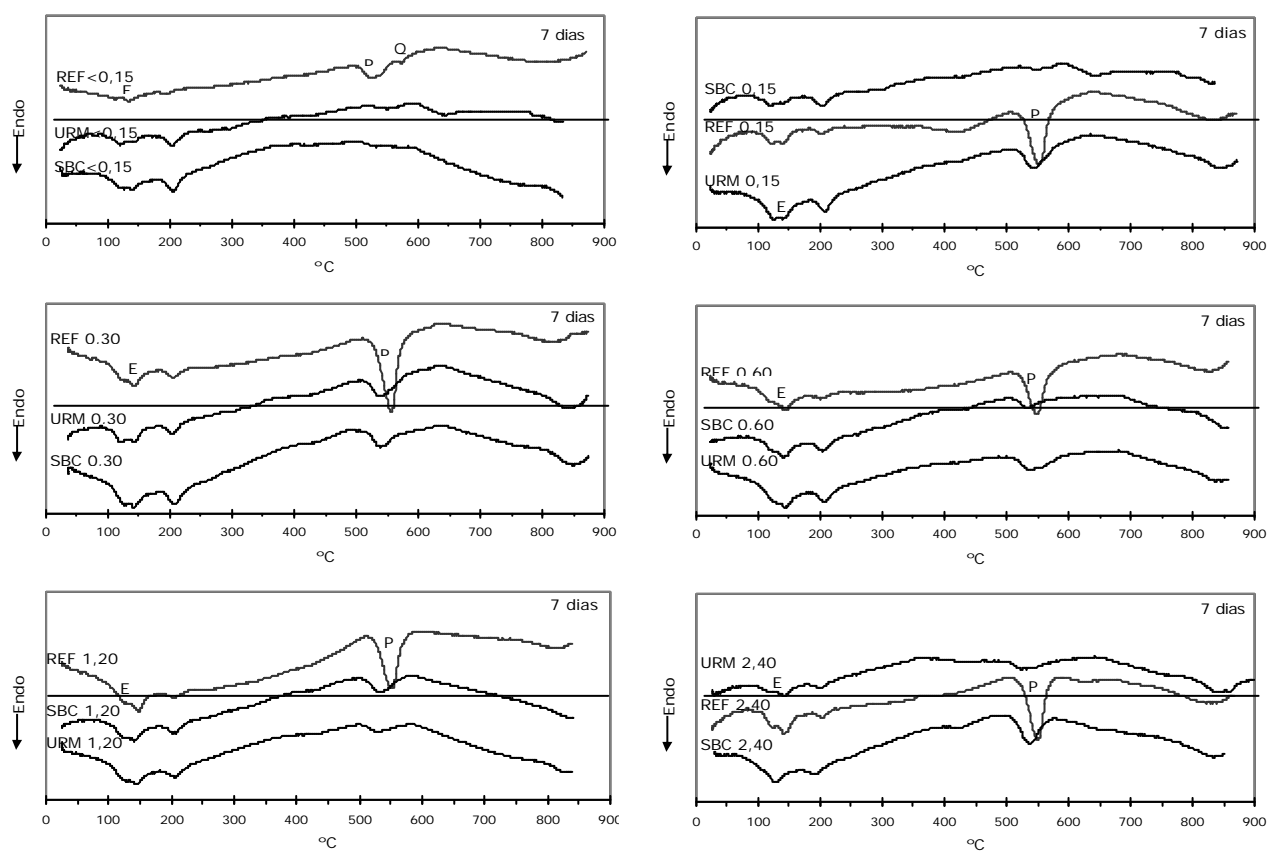


Figura 85 - ATD argamassas com 7 dias

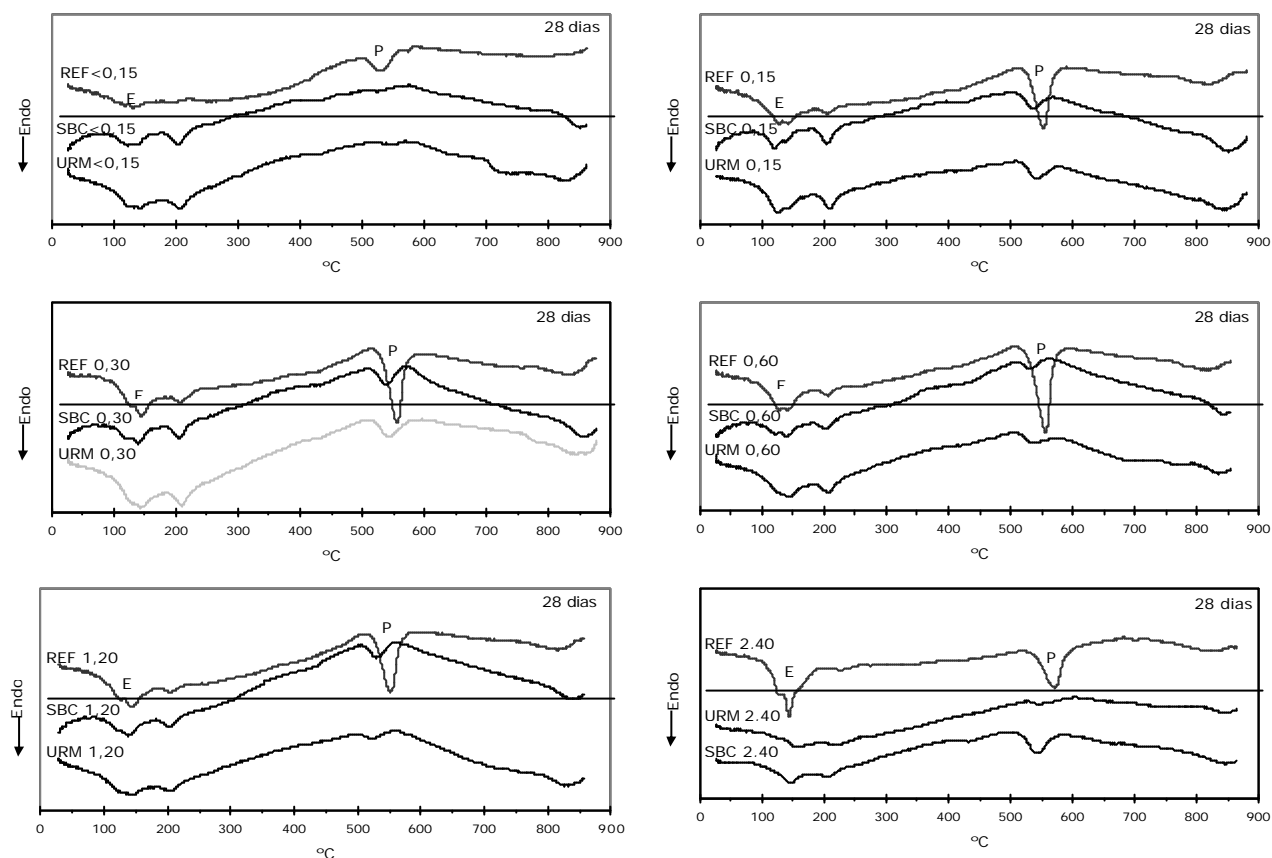


Figura 86 - ATD argamassas com 28 dias

De acordo com a análise do difratograma, foram identificados: etringita (E); quartzo (Q), portlandita (P); calcita (C) e alita (A), conforme Figura 87.

Na argamassa produzida com a fração fina (0,15mm) percebe-se a formação da etringita, independentemente da idade, o que foi também identificado no pico endotérmico da curva de ATD. A calcita encontrada deve-se à fase de carbonatação através do contato da argamassa com CO₂, presente na atmosfera.

Observando-se o pico da portlandita (Ca(OH)₂) constata-se que ocorreu maior fixação nas argamassas produzidas com agregados reciclados de RCD, fato este constatado pela tendência de redução do pico P e pelos termogramas apresentados anteriormente, através da redução da área do pico endotérmico da portlandita.

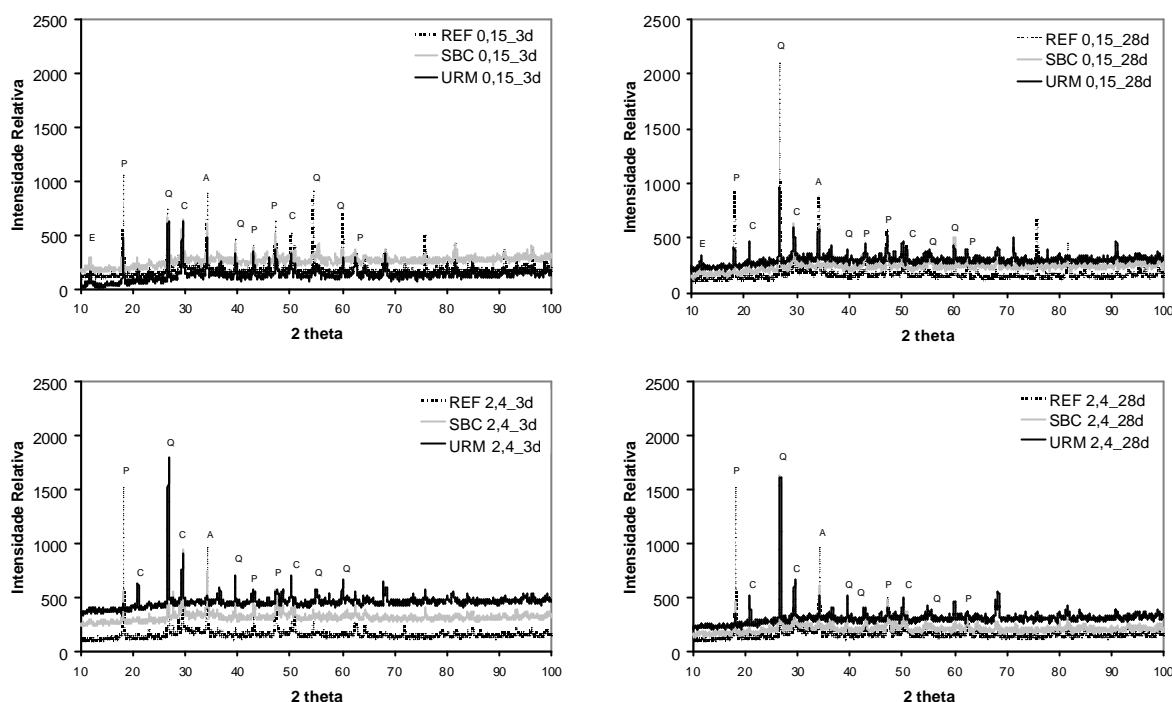


Figura 87 - Difrátogramas das argamassas REF, SBC e URM 0,15 e 2,40mm

4.6.5 Comparativo com a NBR 10004 e outras normas

Marion *et al.* (2005) comenta que o comparativo entre a concentração de metais pesados (período de 24 horas) com os parâmetros fornecidos para a qualidade da água para consumo humano têm sido usados para a interpretação dos resultados dos ensaios de lixiviação, de forma a avaliar os riscos de contaminação devido à lixiviação de metais pesados dos materiais cimentícios.

Desta forma, são apresentados na Tabela 46, 47 e 48 os resultados da concentração lixiviada (mg/L) de metais pesados em um período de 24 horas nas seis diferentes argamassas produzidas com três tipos de agregados, sendo um deles o agregado normal (REF). Os resultados foram obtidos levando em conta a quantidade total lixiviada acumulada de cada metal ao longo das oito etapas do ensaio de tanque e dividindo pelo período total do ensaio (64 dias). Pode-se também visualizar os parâmetros fornecidos pela NBR 10004 (2004) – anexo F - e pela diretiva europeia 98/83/EC - *The quality of water intended for human consumption*.

Os parâmetros fornecidos pela diretiva europeia são muito mais rigorosos aos recomendados pela norma brasileira. Assim sendo, todos os metais pesados analisados, considerando sua concentração diária, ultrapassaram os limites quando comparados à 98/83/EC. Em relação aos limites da NBR 10004 somente o **Cd** apresentou concentração superior ao recomendado, os demais também mostraram concentrações inferiores.

**Tabela 46 – Concentração lixiviada diária dos metais pesados (mg/L)
Argamassas com 3 dias**

3 dias								
REF	<0,15	0,15	0,30	0,60	1,20	2,40	NBR 10004	98/83/EC
As	0,853	0,614	0,541	0,927	0,492	0,617	1,00	0,01
Cd	1,309	1,326	1,321	1,279	1,136	1,328	0,50	0,005
Cr	1,259	1,473	1,130	0,818	2,148	2,304	5,00	0,05
Cu	3,253	3,017	3,378	3,437	3,452	3,026	NC	2,00
Mn	0,963	0,961	0,954	0,219	1,343	1,268	NC	0,05
Ni	1,112	0,899	0,720	0,683	0,828	0,694	NC	0,02
Se	1,226	0,523	1,073	0,660	0,464	0,536	1,00	0,01
Zn	1,031	1,752	1,282	1,309	1,485	1,561	NC	NC
SBC	<0,15	0,15	0,30	0,60	1,20	2,40		
As	0,469	0,387	0,667	0,535	0,397	0,847	1,00	0,01
Cd	1,198	1,194	1,752	1,717	0,997	1,308	0,50	0,005
Cr	1,106	0,768	1,453	1,804	1,056	0,196	5,00	0,05
Cu	2,855	3,005	3,371	2,778	2,123	3,223	NC	2,00
Mn	0,783	1,399	0,456	0,397	0,889	0,876	NC	0,05
Ni	1,012	0,936	0,526	0,794	0,557	1,147	NC	0,02
Se	0,939	0,560	0,802	0,616	1,093	0,948	1,00	0,01
Zn	1,627	1,277	1,234	1,406	1,506	1,507	NC	NC
URM	<0,15	0,15	0,30	0,60	1,20	2,40		
As	0,528	0,722	0,902	0,523	0,406	0,609	1,00	0,01
Cd	1,109	1,400	1,323	0,935	1,137	1,769	0,50	0,005
Cr	0,597	1,281	0,380	0,917	1,206	1,165	5,00	0,05
Cu	2,905	3,629	3,541	3,053	3,404	3,327	NC	2,00
Mn	0,626	0,698	0,979	1,085	0,553	1,593	NC	0,05
Ni	0,923	0,740	0,899	0,949	0,601	0,449	NC	0,02
Se	0,493	1,010	0,863	0,802	1,040	0,779	1,00	0,01
Zn	1,307	1,721	1,310	1,294	1,235	1,558	NC	NC

**Tabela 47 – Concentração lixiviada diária dos metais pesados (mg/L)
Argamassas com 7 dias**

7 dias								
REF	<0,15	0,15	0,30	0,60	1,20	2,40	NBR 10004	98/83/EC
As	0,511	0,518	0,400	0,637	0,569	0,551	1,00	0,01
Cd	1,023	1,659	1,327	1,249	0,777	1,549	0,50	0,005
Cr	1,175	0,726	0,911	1,467	1,737	0,517	5,00	0,05
Cu	2,776	2,633	2,660	2,917	2,785	3,103	NC	2,00
Mn	0,876	0,389	0,355	0,590	0,657	0,516	NC	0,05
Ni	0,329	0,625	0,758	0,685	0,659	0,355	NC	0,02
Se	0,602	0,741	0,900	0,466	0,885	0,977	1,00	0,01
Zn	1,732	1,628	0,849	1,852	1,185	1,358	NC	NC
SBC	<0,15	0,15	0,30	0,60	1,20	2,40		
As	0,767	0,761	0,532	0,272	0,667	0,735	1,00	0,01
Cd	0,787	1,208	1,641	1,077	0,750	0,806	0,50	0,005
Cr	1,457	1,205	0,719	0,553	0,308	0,990	5,00	0,05
Cu	3,968	2,870	3,069	3,403	2,838	2,999	NC	2,00
Mn	0,928	0,652	0,877	1,136	0,962	0,342	NC	0,05
Ni	0,088	0,525	0,774	0,515	0,493	1,073	NC	0,02
Se	0,766	0,952	0,792	0,837	0,471	0,580	1,00	0,01
Zn	0,947	1,491	1,250	1,264	1,206	1,512	NC	NC
URM	<0,15	0,15	0,30	0,60	1,20	2,40		
As	0,565	0,382	0,206	0,582	0,353	0,681	1,00	0,01
Cd	1,533	1,449	1,034	1,252	0,883	1,739	0,50	0,005
Cr	1,033	1,213	0,944	0,942	1,373	1,242	5,00	0,05

Continua na próxima página

Cu	2,809	3,467	3,552	3,240	2,791	2,769	NC	2,00
Mn	0,296	1,346	0,428	1,856	0,412	1,212	NC	0,05
Ni	0,507	0,859	0,946	0,616	0,443	0,413	NC	0,02
Se	0,292	0,539	0,628	0,776	0,763	1,150	1,00	0,01
Zn	1,617	1,464	1,574	1,049	1,411	1,542	NC	NC

NC significa não consta.

**Tabela 48 - Concentração lixiviada diária dos metais pesados (mg/L)
Argamassas com 28 dias**

28 dias								
REF	<0,15	0,15	0,30	0,60	1,20	2,40	NBR 10004	98/83/EC
As	0,338	0,568	0,664	0,869	0,437	0,449	1,00	0,01
Cd	1,659	0,421	0,932	1,905	1,361	0,974	0,50	0,005
Cr	1,685	0,937	1,212	2,052	0,856	0,736	5,00	0,05
Cu	3,042	2,822	3,033	3,121	3,622	2,622	NC	2,00
Mn	0,978	0,947	0,926	1,314	0,837	1,435	NC	0,05
Ni	0,791	0,696	0,572	1,377	0,883	0,771	NC	0,02
Se	0,638	0,912	0,904	0,936	0,957	0,926	1,00	0,01
Zn	1,242	1,425	1,678	1,563	1,183	1,157	NC	NC
SBC	<0,15	0,15	0,30	0,60	1,20	2,40		
As	0,417	0,495	0,565	0,519	0,636	0,338	1,00	0,01
Cd	1,185	1,139	1,254	1,473	1,282	0,957	0,50	0,005
Cr	1,424	0,854	1,103	1,332	0,563	1,112	5,00	0,05
Cu	2,823	3,239	3,349	3,123	2,858	2,802	NC	2,00
Mn	1,185	1,155	0,881	1,067	0,615	1,426	NC	0,05
Ni	0,801	0,805	0,737	0,355	0,309	0,697	NC	0,02
Se	0,762	1,126	0,929	0,781	0,601	1,008	1,00	0,01
Zn	1,292	1,757	1,916	1,929	1,333	1,239	NC	NC
URM	<0,15	0,15	0,30	0,60	1,20	2,40		
As	0,560	0,611	0,901	0,809	0,704	0,509	1,00	0,01
Cd	0,395	1,292	1,334	1,173	1,443	2,006	0,50	0,005
Cr	1,772	0,511	0,865	0,908	1,970	1,050	5,00	0,05
Cu	3,287	3,204	3,269	3,137	2,969	3,247	NC	2,00
Mn	0,302	1,222	1,307	1,101	0,527	1,040	NC	0,05
Ni	0,800	0,953	0,783	0,756	0,606	0,639	NC	0,02
Se	1,184	0,613	1,207	1,259	0,690	0,408	1,00	0,01
Zn	1,813	1,353	1,269	1,294	0,649	1,466	NC	NC

NC significa não consta.

A lixiviação acumulada (mg/m^2) obtida pelos metais pesados nos 64 dias de ensaio, nas argamassas REF, SBC e URM nas três idades de cura, pode ser visualizada nas Tabelas 49, 50 e 51. Faz-se também um comparativo aos limites estabelecidos pela norma NEN 7345.

Segundo Lima, L. A. (1999) a NEN 7345 classifica os materiais em duas categorias, essas que levam em consideração a lixiviação acumulada obtida através do ensaio de tanque. As categorias são as seguintes:

1 – materiais que apresentam lixiviação acumulada com valores inferiores a U1. Esses materiais não apresentam nenhuma restrição em relação à sua utilização.

2 – materiais que apresentam valores de lixiviação acumulada superior aos limites U2. Esses materiais possuem sua aplicação restringida.

Aqueles materiais que possuem valores entre U1 e U2 podem ser utilizados, porém devem ser extraídos os contaminantes que superam o limite U1.

De forma geral, todos os metais pesados liberados pelas argamassas produzidas com seis frações granulométricas de agregado reciclado mostraram concentrações superiores aos limites estabelecidos em norma. Poderiam ser classificadas como materiais de uso restringido.

Tabela 49 – Lixiviação acumulada (mg/m^2) dos metais pesados e limites estabelecidos pela NEN 7345 – Argamassas com 3 dias

3 dias								
REF	<0,15	0,15	0,30	0,60	1,20	2,40	U1 (mg/m^2)	U2 (mg/m^2)
As	2425,87	1746,27	1539,96	2636,71	1400,36	1755,73	40	300
Cd	3721,96	3771,24	3756,76	3637,29	3232,18	3777,87	1	7,5
Cr	3579,82	4190,98	3213,87	2327,33	6108,49	6552,98	150	950
Cu	9253,78	8580,84	9609,24	9776,98	9820,31	8607,29	50	350
Mn	2740,13	2734,27	2713,11	623,16	3820,13	3606,40	NC	NC
Ni	3164,36	2558,27	2048,84	1943,29	2355,96	1974,71	50	350
Se	3487,51	1487,33	3051,38	1877,24	1318,44	1523,60	1,5	9,5
Zn	2932,49	4982,09	3645,64	3722,67	4223,69	4439,38	200	1500
SBC	<0,15	0,15	0,30	0,60	1,20	2,40	U1 (mg/m^2)	U2 (mg/m^2)
As	1334,58	1101,64	1896,40	1522,27	1129,16	2408,04	40	300
Cd	3406,67	3396,09	4984,49	4884,89	2836,98	3721,47	1	7,5
Cr	3146,76	2183,78	4133,20	5132,67	3003,87	556,71	150	950
Cu	8119,78	8548,27	9588,98	7901,16	6039,87	9167,07	50	350
Mn	2226,84	3980,58	1298,44	1130,40	2529,29	2490,71	NC	NC
Ni	2878,40	2662,18	1496,18	2258,09	1584,76	3263,73	50	350
Se	2669,91	1591,69	2282,22	1751,07	3108,44	2695,87	1,5	9,5
Zn	4627,82	3631,64	3510,84	3998,44	4284,98	4286,93	200	1500
URM	<0,15	0,15	0,30	0,60	1,20	2,40	U1 (mg/m^2)	U2 (mg/m^2)
As	1503,02	2053,82	2567,07	1486,93	1154,62	1733,29	40	300
Cd	3155,16	3981,69	3762,44	2659,73	3235,02	5031,02	1	7,5
Cr	1698,71	3643,11	1081,38	2609,07	3429,91	3314,13	150	950
Cu	8263,56	10323,78	10072,36	8683,96	9681,87	9462,18	50	350
Mn	1780,80	1986,13	2785,38	3086,62	1572,27	4531,16	NC	NC
Ni	2624,67	2106,00	2557,51	2699,60	1709,33	1276,62	50	350
Se	1403,33	2871,69	2453,64	2280,04	2957,24	2215,47	1,5	9,5
Zn	3717,73	4895,33	3727,24	3680,53	3511,47	4430,93	200	1500

Tabela 50– Lixiviação acumulada (mg/m²) dos metais pesados e limites estabelecidos pela NEN 7345 – Argamassas com 7 dias

7 dias								
REF	<0,15	0,15	0,30	0,60	1,20	2,40	U1 (mg/m ²)	U2 (mg/m ²)
As	1452,44	1474,09	1137,96	1813,07	1618,76	1568,53	40	300
Cd	2908,58	4719,47	3775,91	3552,53	2210,09	4405,56	1	7,5
Cr	3341,51	2064,89	2591,47	4171,60	4940,53	1470,13	150	950
Cu	7894,76	7488,58	7567,24	8296,76	7920,44	8826,71	50	350
Mn	2493,07	1105,82	1010,09	1678,27	1869,69	1466,31	NC	NC
Ni	936,36	1777,64	2155,33	1947,29	1873,56	1010,71	50	350
Se	1711,51	2108,09	2558,89	1325,87	2517,38	2779,38	1,5	9,5
Zn	4925,73	1653,60	2416,18	5267,33	3370,36	3862,49	200	1500
SBC	<0,15	0,15	0,30	0,60	1,20	2,40	U1 (mg/m ²)	U2 (mg/m ²)
As	2181,24	2166,00	1512,00	773,91	1896,36	2091,87	40	300
Cd	2238,13	3437,11	4669,07	3064,53	2132,58	2293,38	1	7,5
Cr	4144,53	3428,27	2046,31	1574,13	875,38	2815,78	150	950
Cu	11285,96	8162,31	8728,67	9679,64	8073,47	8530,36	50	350
Mn	2641,02	1855,16	2495,42	3230,04	2735,29	971,96	NC	NC
Ni	248,89	1492,53	2200,98	1464,71	1401,60	3053,42	50	350
Se	2177,51	2707,29	2253,47	2381,29	1340,67	1650,62	1,5	9,5
Zn	2693,38	4240,27	3554,31	3596,27	3430,76	4299,42	200	1500
SBC	<0,15	0,15	0,30	0,60	1,20	2,40	U1 (mg/m ²)	U2 (mg/m ²)
As	1606,62	1085,20	586,18	1654,22	1004,09	1936,31	40	300
Cd	4361,20	4122,93	2941,91	3562,62	2511,78	4946,58	1	7,5
Cr	2937,96	3451,11	2685,33	2678,93	3904,40	3533,42	150	950
Cu	7991,33	9862,89	10103,82	9216,98	7939,29	7876,76	50	350
Mn	840,71	3829,56	1217,69	5278,04	1172,04	3447,91	NC	NC
Ni	1443,11	2444,31	2690,62	1753,16	1260,53	1176,09	50	350
Se	831,69	1532,93	1785,33	2207,60	2169,11	3272,13	1,5	9,5
Zn	4598,49	4164,44	4477,69	2983,20	4014,04	4385,42	200	1500

Tabela 51– Lixiviação acumulada (mg/m²) dos metais pesados e limites estabelecidos pela NEN 7345 – Argamassas com 28 dias

28 dias								
REF	<0,15	0,15	0,30	0,60	1,20	2,40	U1 (mg/m ²)	U2 (mg/m ²)
As	960,13	1614,80	1887,64	2471,33	1242,84	1278,04	40	300
Cd	4717,73	1198,13	2649,73	5419,51	3872,00	2770,62	1	7,5
Cr	4792,00	2666,49	3448,58	5835,69	2434,58	2092,71	150	950
Cu	8652,62	8027,69	8626,40	8876,22	10302,13	7458,27	50	350
Mn	2780,44	2693,82	2633,24	3737,64	2381,20	4082,09	NC	NC
Ni	2248,84	1981,11	1625,91	3916,93	2511,82	2192,76	50	350
Se	1813,56	2593,64	2570,89	2663,20	2721,42	2633,24	1,5	9,5
Zn	3532,80	4054,22	4773,42	4447,24	3365,87	3290,00	200	1500
SBC	<0,15	0,15	0,30	0,60	1,20	2,40	U1 (mg/m ²)	U2 (mg/m ²)
As	1186,84	1408,53	1605,73	1477,42	1808,13	960,89	40	300
Cd	3371,73	3239,38	3566,53	4190,49	3647,73	2723,16	1	7,5
Cr	4049,73	2428,09	3137,82	3787,82	1602,58	3164,04	150	950
Cu	8029,11	9212,09	9526,93	8882,49	8130,71	7969,07	50	350
Mn	3371,69	3284,13	2507,11	3035,78	1749,82	4056,89	NC	NC
Ni	2277,96	2291,16	2095,42	1010,00	880,22	1982,31	50	350
Se	2167,64	3202,40	2642,31	2220,67	1709,42	2867,82	1,5	9,5
Zn	3674,49	4996,71	5448,71	5488,04	3792,36	3523,64	200	1500
SBC	<0,15	0,15	0,30	0,60	1,20	2,40	U1 (mg/m ²)	U2 (mg/m ²)
As	1593,778	1737,111	2562,800	2301,867	2002,044	1446,578	40	300
Cd	1123,378	3675,422	3793,422	3335,289	4103,556	5705,067	1	7,5
Cr	5039,511	1454,444	2460,978	2583,733	5602,578	2985,778	150	950
Cu	9350,622	9113,467	9298,889	8923,822	8446,222	9235,378	50	350
Mn	859,600	3476,933	3718,533	3132,133	1498,800	2959,244	NC	NC

Continua na próxima página

Ni	2276,444	2710,667	2226,133	2150,756	1722,444	1817,556	50	350
Se	3366,711	1744,044	3433,911	3581,600	1962,356	1159,778	1,5	9,5
Zn	5155,689	3849,556	3608,933	3679,778	1844,711	4170,356	200	1500

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

5.1 Conclusões

A liberação de contaminantes a partir de agregados reciclados provenientes do beneficiamento de resíduos de construção e demolição (RCDs) é um tema de grande relevância em função de dois tópicos: um deles pela possível contaminação do solo e lençol freático através da lixiviação e solubilização que ocorrem espontaneamente quando expostos ao meio ambiente; o segundo tópico seria devido a influência desses contaminantes quando os agregados reciclados são empregados em materiais, já que essa prática é uma tendência mundial.

Especificamente sobre os metais pesados, estes são elementos importantes, pois estão presentes em todas as cadeias industriais e alguns deles fazem parte dos ciclos da natureza. A lixiviação e solubilização desses elementos em concentrações elevadas causam danos ao ambiente e quando presentes em materiais à base de cimento podem prejudicar algumas propriedades.

O procedimento experimental realizado analisou os agregados reciclados em três fases: nas pilhas das centrais de beneficiamento; em laboratório quando fracionados e submetidos aos ensaios de lixiviação e solubilização e, por fim nas argamassas produzidas com agregados reciclados. Dentro de todas essas etapas foram identificados metais pesados em altas concentrações e esses resultados serão resumidos nos próximos parágrafos.

O espectrômetro portátil mostrou-se uma ferramenta bastante importante, capaz de avaliar in-loco os metais pesados presentes nas pilhas de agregados reciclados. Esta ferramenta também foi essencial para a amostragem determinando a escolha dos agregados a serem encaminhados ao laboratório. Os principais metais pesados identificados nesta fase foram **As, Ag, Cd, Cr, Mn, Pb, Rb, Ti, Zn e Zr**. Foram quantificadas altas concentrações de **Fe** nos agregados reciclados inseridos nas pilhas.

As análises químicas realizadas em laboratório nos agregados reciclados mostraram que sua composição é cerca de 90% de **SiO₂, Al₂O₃, CaO e Fe₂O₃**. Não ocorreu grande variação no teor dentre as sete faixas granulométricas avaliadas (2,40; 1,20; 0,60; 0,30; 0,15; 0,075 e <0,075 mm). Os metais pesados **As, Cd, Cr, Cu, Mn, Ni, Ti e Zn** foram detectados nos agregados reciclados em concentrações inferiores 0,16%.

Ca e Cl foram liberados em concentrações altas, sendo muito superiores aos demais elementos identificados. A lixiviação do **Ca** ocorreu principalmente nas frações mais finas. Os agregados reciclados lixiviaram **Fe** em todas as amostras analisadas, com concentrações em torno de 20 mg/L. Os metais pesados **Cu e Zn** foram bem frequentes nas frações de agregados reciclados analisadas.

As, Cd e Cr foram lixiviados em concentrações altas, porém não foram detectados em todas as frações analisadas. Esses metais tiveram desvio-padrão alto e conseqüente alto coeficiente de variação, o que poderia ser melhorado se fosse aumentada a repetitividade dos ensaios. Outros metais pesados como **Mn e Ti** foram detectados em poucas das frações analisadas, porém naquelas em que foram

quantificados a concentração foi alta. Não foi visualizada tendência de concentração dos metais em função da faixa granulométrica do agregado reciclado.

Dos elementos considerados pela NBR 10004 (2004) para extrato lixiviado **As**, **Cr**, **Cd** e **Se** foram detectados, estes em concentrações superiores aos limites recomendados pela norma. Dentre os elementos detectados, a concentração lixiviada do **Cd** foi a que mais excedeu os limites da norma, com alguns valores sendo 36 vezes superiores. Na pior situação obtida **As** e **Se** lixiviaram cerca de 8 vezes ao valor limite, já o **Cr** lixiviou 3 vezes mais. É importante salientar que esses valores podem variar substancialmente em função da técnica analítica utilizada.

Os valores de pH obtidos anteriormente da execução do ensaio de lixiviação são alcalinos, estando entre 9,00 e 10,50. Após as 18 horas de agitação os valores de pH caíram para valores entre 5,00 e 7,00. Os finos mostraram maiores valores de pH. Os agregados reciclados URM onde estavam presentes maiores quantidades de partículas cerâmicas mostraram valores de pH inferiores aos obtidos nas amostras SBC.

Cd e **Se** nas amostras URM lixiviaram mais em valores de pH entre 5,00 e 5,50, nas amostras SBC a lixiviação ocorreu entre 5,50 e 6,00. O **As** lixiviou, tanto nas amostras URM quanto nas SBC, em uma faixa maior de pH entre 5,00 e 7,00. Não foi possível identificar uma correlação entre a concentração e o pH.

Ca e **Cl** foram os elementos que mais solubilizaram nas amostras analisadas, com concentrações muito superiores aos demais elementos detectados, da mesma forma que o verificado no ensaio de lixiviação. A solubilização do **Ca** foi maior nos finos, onde ocorreram também os menores valores de pH. O **Cl** não mostrou diferenças significativas entre as concentrações obtidas nas diferentes frações.

O pH obtido na solubilização foi alcalino, manteve-se entre 9,00 e 11,00. Ao contrário do verificado na lixiviação, maiores valores de pH ocorreram nos agregados de maiores dimensões. Os agregados SBC mostraram maiores valores de pH.

Os metais pesados solubilizados com maior frequência em praticamente todas as faixas granulométricas dos agregados reciclados foram **As**, **Cd**, **Cu**, **Sn** e **Zn**. Com exceção do **Sn**, estes também foram os metais mais frequentes na lixiviação.

Dos elementos considerados pela NBR 10004 para extrato solubilizado foram detectados **As**, **Cd**, **Cu**, **Cr**, **Fe**, **Mn**, **Se** e **Zn**. Com exceção do **Zn**, todos os elementos tiveram concentrações muito superiores aos limites recomendados pela norma em todas as frações de agregados analisadas.

O **As**, que foi o metal pesado detectado com as menores concentrações no solubilizado, em algumas amostras, em torno de 160 vezes ao estabelecido. As maiores concentrações no solubilizado foram do **Cu** e **Fe**, sendo nas piores situações 15 e 90 vezes superiores aos limites da NBR 10004, respectivamente.

O **Cd** solubilizou cerca de 2000 vezes ao limite da norma que é 0,005 mg/L. A solubilização do **Cr** chegou a 240 vezes superior ao recomendado. Esses metais solubilizaram mais nas maiores faixas granulométricas, onde ocorreram os maiores valores de pH.

O **Se** foi mais freqüente nos agregados fracionados URM com concentrações 1000 vezes superiores ao limite que é 0,01 mg/L. O **Mn** apresentou maior

solubilização sendo de 120 a 170 vezes superiores ao limite que é 0,1 mg/L. Em geral, a concentração do não sofreu grandes variações em função da granulometria.

Pode-se observar que os limites para a solubilização são muito mais rigorosos aos da lixiviação, são também considerados muito mais elementos inorgânicos, que é o caso dos metais pesados. Desta forma, o comparativo com os limites para a solubilização mostraram situações mais desfavoráveis, como por exemplo, o **Cd** e o **Se**, esse que também mais excederam os valores limites na lixiviação.

No ensaio de tanque os elementos lixiviados das argamassas foram convergentes àqueles lixiviados e solubilizados dos agregados reciclados. Foi possível visualizar a cinética de cada elemento lixiviado das argamassas após os 64 dias do ensaio de tanque.

Dentre os metais pesados considerados **Cd**, **Cr**, **Cu** e **Zn** foram os que, após 64 dias de ensaio, apresentaram as maiores concentrações. **As** foi o metal pesado com as menores lixiviações acumuladas. Não foi possível identificar em qual idade de cura os metais lixiviam mais das argamassas, pois os valores acumulados obtidos variaram bastante dependendo da amostra e granulometria do agregado.

A cinética de liberação dos metais pesados, mostraram comportamento bastante semelhantes. As curvas da cinética da liberação dos metais mostram uma subida acentuada nas primeiras horas de ensaio e estabilização em torno de 200 horas. Algumas variações ocorreram de forma pontual dentre as amostras analisadas.

Os valores de pH obtidos no ensaio de tanque foram superiores a 7. Na maioria dos casos o pH mostrou-se alto nas primeiras horas de ensaio e após 500 horas sofreu um declínio. Em algumas amostras específicas, na última etapa do ensaio com cerca 1500 horas, houve um aumento nos valores de pH. As amostras URM mostraram valores inferiores de pH. Não foi possível identificar uma tendência clara entre a lixiviação das argamassas e os valores de pH.

A difusividade dos vinte elementos liberados pelas argamassas estudadas mostra maiores valores nas primeiras etapas do ensaio, com redução significativa desses valores nas etapas finais. Pode-se dizer que o mecanismo que controla a lixiviação dos metais pesados das argamassas é a difusão.

Na análise térmica diferencial das argamassas pode-se perceber claramente as evidências da etringita, portlandita e transformação do quartzo. Através das reações endotérmicas pode-se perceber que a transformação do quartzo ocorreu somente nas argamassas com 3 dias de cura. Picos acentuados de portlandita foram verificados principalmente nas argamassas com 28 dias. As argamassas produzidas com agregados reciclados consumiram mais cálcio que a referência.

A concentração lixiviada diária (período de 24 horas) dos metais pesados liberados das argamassas foi superior aos limites recomendados pela diretiva europeia 98/83/EC - *The quality of water intended for human consumption*. Já, na comparação aos limites da norma brasileira, que é menos rigorosa, todos os metais ficaram dentro dos limites. Em comparativo com a NEN 7345 as argamassas foram classificadas como de uso restringido.

5.2 Sugestões para pesquisas futuras

A presente pesquisa procurou contribuir sobre a liberação de metais pesados e outros elementos tanto dos agregados reciclados quanto das argamassas. Teve o intuito de abordar a importância do estudo de contaminantes em produtos reciclados anteriormente de aplicados em materiais, tendo enfoque ambiental. Com o intuito de intensificar as abordagens e aprofundar o tema estudado, sugere-se as seguintes pesquisas:

- Estudo dos finos (0,15; 0,075 e < 0,075 mm) de agregados reciclados incorporados em argamassas, essas com relações água/cimento fixas, a fim de avaliar a rede porosa para associação com a liberação dos metais pesados.
- Estudo da cinética dos metais pesados em concretos, em determinadas relações água/cimento.
- Estudo da interação de metais pesados específicos com os compostos hidratados do cimento.
- Estudo da influência de faixas de pH na liberação de determinados metais pesados.
- Avaliação da difusividade dos metais pesados nas argamassas.
- Utilização de espectrômetro de absorção atômica para análise dos extratos lixiviados e solubilizados.
- Estudo comparativo da concentração lixiviada obtida utilizando-se diferentes ensaios, conforme referências bibliográficas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACHTERNBOSCH, M.; BRAUTIGAM, K.; HARTLIEB, N.; KUPSCH, C.; RICHERS, U.; STEMMERMANN, P. Impact of the use of the waste on trace element concentrations in cement and concrete. **Waste Management & Research**, pages 328-337, 2005.

ANGULO, S. C. **Caracterização de agregados de resíduos de construção e demolição reciclados e a influência de suas características no comportamento de concretos**. Tese de doutorado. Escola Politécnica da USP. Departamento de Engenharia de Construção Civil. São Paulo, 2005.

ASAVAPISIT, S.; NAKSRICHUM, S.; IARNWAJANAWONG, N. Strength, leachability and microstruture characteristics of cement-based solidified plating sludge. **Cement and Concrete Research**, pages 1042-1049, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 10004 - **Resíduos Sólidos** – Classificação, Rio de Janeiro, 2004.

_____. NBR 10005 – **Lixiviação de resíduos** – Procedimento para obtenção de extrato lixiviado. Rio de Janeiro, 2004.

_____. NBR 10006 – **Solubilização de resíduos** – Procedimento para obtenção de extrato solubilizado. Rio de Janeiro, 2004.

_____. NBR 15115: agregados de resíduos sólidos da construção civil: execução de camadas de pavimentos. Rio de Janeiro, 2004.

_____. NBR 15116: agregados de resíduos sólidos da construção civil: utilização

em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural - requisitos. Rio de Janeiro, 2004.

BAVARESCO, Roberto Carlos. **Utilização de entulho reciclado para produção de argamassa**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC. Florianópolis – SC, 2001.

BAZZUCO, Regis Sandro. **Utilização de agregados reciclados de concreto para produção de novos concretos**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, Florianópolis-SC, 1999.

BIANCHINI, G; MARROCCHINO,E; TASSINARI, R; VACCARO, C. Recycling of construction and demolition waste materials: a chemical–mineralogical appraisal. **Waste Management**, volume 25, pages 149–159, 2005.

California Environmental Protection Agency. **Deconstruction Training Manual: Waste Management Reuse and Recycling at Mather Field**. Califórnia, julho de 2001.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução n. 307 de 5 julho de 2002. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão de resíduos da construção civil. **Diário Oficial da União**, Brasília, 17 jul. 2002. Sec. 1, p. 95-96.

Department of Environmental Engineering Sciences. **Guide: Recommended Management Practices for the Removal of Hazardous Materials from Buildings Prior to Demolition**. Florida, 2004. Disponível em: <www.floridacenter.org>. Acesso em novembro de 2005.

EEC Council Directive 98/83/EC of 3 November 1998 on The quality of Water Intended for Human Consumption, Off J. L330./05/12/98.

EIGHMY, T. T.; CRIMI, D.; WHITEHEAD, I. E.; ZHANG, X.; GRESS, L. D. **The influence of monolith physical properties and integrity on diffusional behavior of asphaltic pavements constructed with MSW combustion bottom ash**. In: Waste Materials in Construction: Putting Theory into Practice. Proceedings of the International Conference on the Environmental and Technical Implications of Construction with Alternative Materials, WASCON 97, Houthem St. Gerlach, The Netherlands, 4-6 June 1997.

HARTLÉN, J. Environmental consequences of using residues. **Waste Management**, vol 16, pages 1-6, 1996.

HALIM, C. E.; AMAL, R; BEYDOUN, D.; SCOTT, J. A.; LOW, G. Implications of the structure of cementitious wastes containing Pb(II), Cd(II), As(V), and Cr(VI) on the leaching of metals. **Cement and Concrete Research**, volume 34, pages 1093–1102, 2004.

HILLIER, S. R.; SANGHA, C. M.; PLUNKETT, B. A.; WALDEN, P. J. Long-Term leaching of toxic trace metals from Portland cement concrete. **Cement and Concrete Research**, pages 515-521, 1999.

JOHN, V. M.; AGOPYAN, V. Reciclagem de resíduos da construção. In: SEMINÁRIO DE RESÍDUOS SÓLIDOS, 1., 2000. São Paulo. **Anais...** São Paulo: CETESB, 2000.

KHATIB, J. M. Properties of concrete incorporating fine recycled aggregate. **Cement and Concrete Research**, volume 35, pages 763– 769, 2005.

LEITE, M. B. **Avaliação de propriedade mecânicas de concretos produzidos com agregados de resíduos de construção e demolição**. Tese de doutorado. UFRGS – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Porto Alegre, 2001.

LEVY, S. M. **Contribuição ao estudo da durabilidade de concretos, produzidos com resíduos de concreto e alvenaria**. Tese de doutorado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2001.

LIMA, J. A. R. **Proposição de diretrizes para a produção e normalização de resíduo de construção reciclado e de suas aplicações em argamassa e concretos**. São Carlos, 1999. 240 p. Dissertação (Mestrado). EESC. Universidade de São Paulo.

LIMA, L. A. **Hormigones com escorias de forno electrico como áridos: propiedades, durabilidad y comportamiento ambiental**. Catalunya – Espanha, 1999. Tese - Escola Técnica Superior D'enginyers de camins, canals I ports, 1999.

LIMBACHIYA, M.C; MARROCCHINO, E; KOULOURIS A. Chemical–mineralogical characterisation of coarse recycled concrete aggregate. **Waste management**, 2006.

MALVIYA, R.; CHAUDHARY, R. Evaluation of leaching characteristics and environmental compatibility of solidified/stabilized industrial waste. **Waste management**, volume 8, pages 78-87, 2006.

MARION, A. M; DE LAÈVE, M.; GRAUW, A. Study of the leaching behaviour of paving concretes: quantification of heavy metals content in leachates issued from tank test using demineralized water. **Cement and Concrete Research**, pages 951-957, 2005.

MINOCHA, A.K.; JAIN, N.; VERMA C.L. Effect of inorganic materials on the solidification of heavy metal sludge. **Cement and Concrete Research**, volume 33 pages 1695–1701, 2003.

MIRANDA, L. F. R. **Estudo dos fatores que influem na fissuração de revestimentos de argamassa com entulho reciclado**. Dissertação de mestrado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2000.

MURAT M.; SORRENTINO F. Effect of large additions of Cd, Pb, Cr, Zn, to cement raw meal on the composition and the properties of the clinker and the cement. **Cement and Concrete Research**, Vol. 26, pages 377-385, 1996.

NNI, NEN 7345, Determination of Leaching From Monolithic Construction Materials and Waste Materials by Means of a Diffusion Test, NNI, Amsterdam, 1995.

OLMO, F.; CHACON, E. IRABIEN, A. Influence of lead, zinc, iron (III) and chromium (III) oxides on the setting time and strength development of Portland cement. **Cement and Concrete Research**, volume 31, pages 1213–1219, 2001.

PINTO, T. P. **Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana. São Paulo**. Tese de doutorado. Escola Politécnica, USP. São Paulo - SP, 1999.

PINTO, T. **Gestão ambiental de resíduos da construção civil: a experiência do Sinduscon-SP**. Publicação Sinduscon-SP. 2005.

POON, C. S.; CHAN, D. Effects of contaminants on the properties of concrete paving blocks prepared with recycled concrete aggregates. **Construction and Building Materials**, 2005.

POON, C. S.; SHUI, Z. H.; LAM, L. Effect of microstructure of ITZ on compressive strength of concrete prepared with recycled aggregates. **Construction and Building Materials**, volume 18, pages 461-468, 2004.

QIJUN YU; NAGATAKI, S.; JINMEI LIN; SAEKI, T.; HISADA, M. The leachability of heavy metal in hardened fly ash cement and cement-solidified fly ash. **Cement and Concrete Research**, pages 1056-1063, 2005.

RAHAL, K. Mechanical properties of concrete with recycled coarse aggregate. **Building and Environment**, 2005.

SANI, D.; MORICONI, G.; CORINALDESI V. Leaching and mechanical behaviour of concrete manufactured with recycled aggregates. **Waste Management**, pages 177-182, 2005.

SARDÁ, M C. **Diagnóstico do entulho gerado na cidade de Blumenau - SC: potencialidades de uso em obras públicas**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC. Florianópolis, SC. 2003.

SINGH, T. S.; PANT, K.K. Solidification/stabilization of arsenic containing solid wastes using portland cement, fly ash and polymeric materials. **Journal of Hazardous Materials**, B131, pages 29–36, 2006.

STEPHAN, D.; MALLMANN, R.; KNÖFEL D.; HÄRDTL R. High intakes of Cr, Ni, and Zn in clinker - Part II: Influence on the hydration properties. **Cement and Concrete Research**, volume 29, pages 1959–1967, 1999.

TOWNSEND, T.; JANG, Y-CH.; TOLAYMAT, T. **Leaching Tests for Evaluating Risk in Solid Waste Management Decision Making**. Florida Center for Solid and Hazardous Waste Management. Report No. 03-01. Gainesville, FL, USA. 2003.

TOWNSEND, T.; TOLAYMAT, T.; LEO, K.; JAMBECK, J. Heavy metals in recovered fines from construction and demolition debris recycling facilities in Florida. **Science of the Total Environment**, pages 1-11, 2004.

TRANKLER, J. O. V.; WALKER, I.; DOHMANN, M. Environmental impact of demolition waste – an overview on 10 years of research an experience. **Waste Management**, volume 16, pages 21-26, 1996.

TREZZA M.A; FERRAIUELO, M.F. Hydration study of limestone blended cement in the presence of hazardous wastes containing Cr(VI). **Cement and Concrete Research**, volume 33, pages 1039–1045, 2003.

VAN DER SLOOT, H. A. Quick techniques for evaluating the leaching properties of waste materials: their relation to decisions on utilization and disposal. **Elsevier Science**, volume 17, n 5, 1998.

VAN DER SLOOT, H. A.; COMANS, R. N.J.; HJELMAR, O. Similarities in the leaching behaviour of trace contaminants from waste, stabilized waste, construction materials and soils. **The science of the Total Environment**, volume 178, pages 111-126, 1996.

VAN GERVEN, T.; VAN BAELEN, D.; DUTRÉ, V.; VANDECASTEELE, C. Influence of carbonation and carbonation methods on leaching of metals from mortars. **Cement and Concrete Research**, volume 34, pages 149-156, 2004.

XAVIER, L. L. **Diagnóstico do resíduo da construção civil na cidade de Florianópolis**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC. Florianópolis, SC. 2001.

ZORDAN, S. E. **A utilização do entulho como agregado, na confecção do concreto**. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP. Campinas, SP. 1997.

ANEXO

Dados do ensaio de tanque

ANEXO 1: Dados do ensaio de tanque

REF < 0,15 mm (3 DIAS)																
Metal	6 horas		1 dia		2d+6h		4 dias		9 dias		16 dias		36 dias		64 dias	
	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP
As	11,844	2,797	6,081	2,804	10,260	2,883	10,764	2,682	ND	ND	4,430	2,792	4,685	2,798	6,517	2,582
Ca	109,759	31,715	468,897	15,274	266,070	13,149	307,220	13,719	343,495	13,694	279,275	13,605	752,896	17,198	798,942	17,150
Cd	7,185	5,135	13,983	5,121	10,704	4,913	ND	ND	5,513	4,852	17,610	5,144	14,285	4,895	14,464	4,935
Cl	5851,142	446,000	6028,588	444,781	1848,561	395,560	ND	ND	7199,252	437,743	4738,608	428,960	5012,024	438,158	3265,242	472,226
Cr	ND	ND	14,508	9,864	13,235	9,396	16,994	9,183	ND	ND	17,588	9,403	18,221	9,627	ND	ND
Cu	28,178	3,865	28,773	3,959	31,923	3,936	25,140	3,732	28,836	4,036	24,606	3,686	28,432	3,898	12,322	4,074
Fe	19,248	6,195	22,609	6,431	35,829	6,394	26,021	6,196	29,956	6,456	16,060	6,157	30,845	6,524	27,638	6,329
K	ND	ND	97,912	66,668	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Mn	22,483	8,160	ND	ND	ND	ND	ND	ND	14,902	7,808	9,324	7,651	ND	ND	14,944	7,883
Nb	3,657	1,981	5,700	1,923	ND	ND	3,006	1,800	ND	ND	7,028	1,902	6,696	1,922	3,860	1,923
Ni	11,784	4,607	9,891	4,801	10,553	4,134	10,156	4,549	5,656	4,824	11,169	4,171	11,989	4,798	ND	ND
Rb	5,131	2,453	5,777	2,368	6,823	2,363	7,429	2,253	ND	ND	9,164	2,124	ND	ND	ND	ND
Se	13,017	2,891	12,991	2,770	12,403	2,787	5,829	2,584	13,662	2,827	5,864	2,713	6,435	2,741	8,268	2,825
Sn	6,563	5,690	24,697	5,699	15,735	5,733	ND	ND	16,082	5,529	11,985	5,500	ND	ND	26,434	5,722
Sr	ND	ND	6,313	2,229	ND	ND	7,565	2,073	7,084	2,230	4,858	2,171	6,214	2,185	4,092	2,227
Ti	ND	ND	ND	ND	ND	ND	19,724	13,648	17,790	14,725	ND	ND	ND	ND	ND	ND
V	ND	ND	ND	ND	ND	ND	13,333	9,662	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Y	8,532	2,287	ND	ND	7,205	2,173	5,880	2,059	6,326	2,206	8,453	2,126	ND	ND	ND	ND
Zr	4,113	1,942	5,341	2,037	ND	ND	ND	ND	4,377	2,051	2,653	1,996	ND	ND	7,661	2,090
Zn	18,288	3,705	ND	ND	5,034	3,409	10,660	3,225	7,658	3,485	18,932	3,545	ND	ND	5,409	3,552
pH	11,01		11,48		11,27		11,11		11,25		11,14		11,45		11,41	
ms/cm	1571		2470		2550		2310		2470		1988		1221		2310	

ND significa não detectado.

REF <0,15 mm (7 DIAS)																
Metal	6 horas		1 dia		2d+6h		4 dias		9 dias		16 dias		36 dias		64 dias	
	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP
As	ND	ND	3,317	2,978	ND	ND	ND	ND	3,518	2,614	8,668	2,825	9,735	2,906	7,442	2,926
Ca	796,233	17,275	326,577	14,062	318,018	13,621	684,208	17,185	263,193	13,124	283,722	13,472	1124,788	19,943	173,055	33,534
Cd	14,094	4,160	9,757	5,019	ND	ND	ND	ND	15,491	4,937	ND	ND	ND	ND	26,101	5,022
Cl	2376,220	429,441	6484,367	447,736	5563,994	435,000	9490,785	448,107	6757,878	437,146	5174,396	447,873	8496,272	445,907	6431,011	447,018
Cr	ND	ND	14,487	10,100	19,348	9,780	ND	ND	ND	ND	ND	ND	22,616	8,469	18,733	8,771
Cu	15,579	3,725	27,101	3,889	23,358	3,902	18,058	4,015	22,722	3,935	23,943	3,850	11,026	4,057	35,845	4,183
Fe	19,420	6,222	16,909	6,597	26,568	6,357	14,652	6,696	6,933	5,981	ND	ND	ND	ND	12,963	6,727
K	85,988	67,352	ND	ND	124,666	74,355	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Mn	8,472	7,443	ND	ND	14,526	7,254	16,979	8,026	ND	ND	ND	ND	16,117	8,244	ND	ND
Nb	5,824	1,799	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	2,906	1,861	ND	ND	2,317	1,964
Ni	6,968	4,009	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	8,679	4,118	5,421	4,761	ND	ND
Rb	5,489	2,254	ND	ND	7,514	2,361	3,516	2,369	ND	ND	ND	ND	6,477	2,445	9,583	2,444
Se	9,285	2,630	ND	ND	ND	ND	ND	ND	3,665	2,775	4,148	2,730	8,247	2,859	13,164	2,906
Sn	11,039	5,274	18,723	5,766	9,922	5,468	ND	ND	17,490	5,578	ND	ND	19,540	5,658	10,827	5,691
Sr	7,060	2,111	6,156	2,301	7,819	2,198	4,480	2,284	ND	ND	4,847	2,176	9,321	2,291	ND	ND
Ti	ND	ND	ND	ND	ND	ND	29,862	14,874	ND	ND	17,455	15,122	ND	ND	ND	ND
V	12,299	11,436	ND	ND	ND	ND	ND	ND	14,289	10,955	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Y	6,410	2,048	5,740	2,243	9,188	2,073	ND	ND	6,471	2,176	4,819	2,111	6,042	2,245	5,408	2,260
Zr	4,965	1,910	4,281	2,133	6,721	2,028	ND	ND	5,136	2,050	5,233	2,005	8,238	2,136	4,460	2,119
Zn	9,461	3,336	12,908	3,717	17,271	3,476	19,838	3,695	8,745	3,556	12,084	3,483	15,382	3,623	15,140	3,570
pH	11,01		11,25		11,27		11,03		11,22		11,10		11,45		11,77	
ms/cm	2300		2250		2220		2010		2400		1464		1221		2740	

ND significa não detectado.

REF <0,15 mm (28 DIAS)																
Metal	6 horas		1 dia		2d+6h		4 dias		9 dias		16 dias		36 dias		64 dias	
	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP
As	3,854	2,683	ND	ND	ND	ND	ND	ND	3,613	2,701	6,688	2,938	7,448	2,564	ND	ND
Ca	533,682	41,974	390,623	14,725	55,896	33,957	45,210	34,301	726,787	16,717	1451,270	21,700	456,491	15,124	319,068	13,818
Cd	20,183	4,368	19,298	4,238	11,062	5,047	ND	ND	17,538	4,822	26,962	5,092	11,106	4,932	ND	ND
Cl	2298,915	377,084	4204,034	420,779	5561,620	429,598	3993,653	424,180	1819,939	426,304	8583,596	443,153	5854,088	445,213	4244,117	438,188
Cr	14,251	9,448	24,269	9,348	12,513	9,802	21,851	9,021	ND	ND	22,648	9,999	12,288	9,846	ND	ND
Cu	21,682	3,783	24,810	3,901	30,426	3,907	24,098	3,841	13,025	3,724	25,508	4,180	24,133	3,986	31,002	3,998
Fe	14,371	6,111	27,980	6,205	24,555	6,208	18,557	6,170	18,111	6,179	16,655	6,669	24,940	6,175	22,353	6,427
K	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	148,743	71,009	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Mn	ND	ND	20,685	7,518	9,964	7,599	ND	ND	ND	ND	ND	ND	17,764	7,907	14,147	7,484
Nb	2,780	1,819	4,589	1,867	3,414	1,860	3,865	1,861	2,671	1,820	4,477	2,002	8,411	1,933	4,283	1,885
Ni	ND	ND	ND	ND	16,432	4,488	20,347	4,697	ND	ND	7,652	4,984	ND	ND	6,168	4,706
Rb	6,599	2,319	ND	ND	5,810	2,354	6,231	2,311	ND	ND	5,129	2,492	8,143	2,406	4,931	2,368
Se	5,499	2,670	11,443	2,754	ND	ND	3,417	2,687	ND	ND	7,692	2,888	ND	ND	12,754	2,749
Sn	22,981	5,404	ND	ND	10,626	5,447	20,242	5,530	ND	ND	7,018	5,622	ND	ND	16,107	5,552
Sr	6,377	2,111	9,227	2,162	ND	ND	9,008	2,159	5,033	2,130	6,726	2,301	4,386	2,229	10,311	2,173
Ti	27,736	13,874	ND	ND	ND	ND	ND	ND	24,879	14,107	ND	ND	ND	ND	15,476	13,870
V	ND	ND	15,088	11,107	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Y	10,194	2,093	6,372	1,941	8,805	2,144	ND	ND	7,845	2,105	9,159	2,282	ND	ND	7,367	2,138
Zr	ND	ND	4,812	1,978	5,354	2,004	5,349	2,007	6,267	1,975	ND	ND	8,418	2,052	2,851	1,990
Zn	4,592	3,358	9,677	3,439	22,327	3,553	ND	ND	16,802	3,367	14,629	3,713	11,461	3,488	ND	ND
pH	11,26		11,58		11,29		11,06		11,71		11,55		11,60		11,21	
ms/cm	1559		1501		1455		2110		2170		2250		3900		2480	

ND significa não detectado.

SBC < 0,15 mm (3 DIAS)

Metal	6 horas		1 dia		2d+6h		4 dias		9 dias		16 dias		36 dias		64 dias	
	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP
As	4,532	2,534	8,176	2,818	ND	ND	ND	ND	9,562	2,837	ND	ND	ND	ND	7,758	2,880
Ca	58,295	35,665	236,990	13,165	236,768	13,114	93,209	33,020	212,262	13,262	47,619	33,422	85,530	32,634	531,842	15,466
Cd	7,821	4,271	13,828	4,374	ND	ND	ND	ND	2ND	5,005	17,970	5,073	17,031	5,067	ND	ND
Cl	5805,343	426,426	6461,354	432,985	5503,280	445,976	3862,865	429,223	5512,103	400,731	4607,487	393,994	4943,898	432,159	4949,166	446,054
Cr	20,684	9,770	ND	ND	ND	ND	11,660	8,861	ND	ND	ND	ND	11,195	8,650	27,263	10,096
Cu	29,502	3,925	12,345	3,937	19,628	3,965	28,855	3,886	21,124	3,972	27,976	3,899	23,794	4,090	19,471	3,997
Fe	16,505	6,367	14,112	6,368	ND	ND	19,613	6,402	23,447	6,257	26,768	6,327	38,358	6,674	26,392	6,679
K	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	132,295	80,437	ND	ND
Mn	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	25,734	7,829	ND	ND	24,370	8,323	ND	ND
Nb	3,292	1,908	6,082	1,913	ND	ND	5,967	1,854	6,599	1,881	3,948	1,869	ND	ND	4,527	1,948
Ni	9,057	4,760	ND	ND	15,011	4,730	10,452	4,157	9,987	4,053	9,666	4,682	ND	ND	10,591	4,881
Rb	11,658	2,407	6,180	2,409	ND	ND	7,166	2,292	3,261	2,143	4,956	2,115	ND	ND	10,343	2,446
Se	9,572	2,761	8,627	2,785	13,717	2,779	7,564	2,678	10,054	2,639	ND	ND	6,940	2,820	3,599	2,912
Sn	ND	ND	ND	ND	10,701	5,515	ND	ND	11,087	5,568	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Sr	8,985	2,201	7,298	2,198	8,305	2,214	ND	ND	ND	ND	5,205	2,145	3,357	2,276	ND	ND
Ti	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
V	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	16,596	10,788
Y	ND	ND	ND	ND	8,154	2,166	4,748	2,076	ND	ND	ND	ND	4,293	2,274	ND	ND
Zr	ND	ND	3,934	2,037	ND	ND	4,501	1,983	7,050	1,855	ND	ND	7,066	2,147	6,153	2,018
Zn	13,409	3,458	12,908	3,278	5,272	3,487	14,441	3,458	10,507	3,477	14,172	3,509	18,838	3,627	14,579	3,644
pH	11,08		11,23		11,25		10,95		10,99		10,91		10,92		11,29	
ms/cm	1474		2170		1953		1704		1532		1131		464		1818	

ND significa não detectado.

SBC <0,15 mm (7 DIAS)																
Metal	6 horas		1 dia		2d+6h		4 dias		9 dias		16 dias		36 dias		64 dias	
	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP
As	7,681	2,415	5,326	2,792	ND	ND	10,111	2,983	10,778	2,736	ND	ND	6,231	2,943	8,951	2,923
Ca	440,161	14,797	30,105	3,918	39,473	33,257	267,898	41,623	47,335	33,797	130,492	35,678	121,606	34,305	167,577	12,622
Cd	ND	ND	ND	ND	8,571	5,158	ND	ND	27,379	4,796	9,236	4,841	5,172	4,866	ND	ND
Cl	2105,762	424,259	5745,091	440,005	5401,444	414,896	6842,797	462,048	4444,291	435,189	4278,961	419,803	8093,687	466,166	6050,946	455,153
Cr	18,862	9,052	ND	ND	ND	ND	16,230	9,256	12,618	8,977	ND	ND	27,990	9,714	17,552	10,403
Cu	19,387	3,76	81,979	34,392	18,141	3,918	33,716	4,172	30,291	3,878	17,676	3,751	31,506	4,191	21,238	4,073
Fe	19,089	6,226	18,432	6,348	ND	ND	17,900	6,228	ND	ND	13,422	6,076	23,551	6,631	14,944	6,595
K	ND	ND	94,349	76,219	ND	ND	ND	ND	114,276	67,923	116,523	79,773	ND	ND	ND	ND
Mn	ND	ND	14,234	6,787	ND	ND	ND	ND	ND	ND	12,618	7,549	20,321	7,541	12,250	7,895
Nb	2,491	1,817	3,919	1,893	3,180	1,867	ND	ND	ND	ND	4,842	1,867	5,067	2,025	5,798	1,942
Ni	ND	ND	ND	ND	5,600	4,708	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Rb	8,701	2,266	ND	ND	7,527	2,327	8,660	2,489	4,414	2,332	ND	ND	ND	ND	4,272	2,453
Se	12,212	2,619	11,656	2,799	8,093	2,741	ND	ND	12,057	2,725	ND	ND	4,976	2,927	ND	ND
Sn	ND	ND	20,194	5,576	11,726	5,445	ND	ND	ND	ND	6,402	5,425	9,521	5,868	ND	ND
Sr	6,761	2,085	ND	ND	7,910	2,159	ND	ND	6,445	2,171	ND	ND	8,873	2,335	6,519	2,289
Ti	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	40,800	16,758	ND	ND
V	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Y	6,864	2,07	7,114	2,175	8,607	2,137	10,182	2,294	ND	ND	4,840	2,128	7,076	2,201	3,819	2,231
Zr	3,06	1,942	6,305	2,013	ND	ND	ND	ND	ND	ND	7,046	1,999	ND	ND	3,632	2,083
Zn	14,486	3,312	ND	ND	5,117	3,419	18,051	3,721	4,542	3,452	ND	ND	8,177	3,709	10,228	3,697
pH	10,82		11,13		11,13		10,85		11,01		10,89		10,92		11,77	
ms/cm	1289		1354		1309		1132		1220		727		464		1706	

ND significa não detectado.

SBC <0,15 mm (28 DIAS)																
Metal	6 horas		1 dia		2d + 6h		4 dias		9 dias		16 dias		36 dias		64 dias	
	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP
As	ND	ND	ND	ND	3,045	2,775	9,807	2,875	6,667	2,767	ND	ND	7,185	2,749	ND	ND
Ca	464,693	42,474	298,125	13,537	63,169	27,348	54,311	32,201	224,755	13,458	324,303	14,229	101,212	32,398	ND	ND
Cd	19,325	4,803	24,606	5,088	11,440	4,764	ND	ND	ND	ND	ND	ND	8,393	5,153	12,100	5,005
Cl	2858,949	425,112	4014,339	429,139	5460,969	431,491	4551,566	443,348	4635,449	421,226	6596,071	442,291	3916,946	438,122	4776,483	424,838
Cr	13,535	9,039	ND	ND	ND	ND	ND	ND	24,645	9,665	12,892	9,644	20,924	8,102	19,123	9,547
Cu	11,342	3,772	14,957	3,800	20,419	3,892	19,720	4,032	30,556	3,960	24,509	3,999	28,001	3,803	31,151	3,940
Fe	39,164	6,316	21,205	5,866	26,268	5,932	12,311	6,306	34,982	6,665	25,490	6,448	13,531	6,246	28,369	6,645
K	82,912	66,948	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	87,593	80,979	106,572	78,770	107,760	81,565
Mn	16,066	7,648	ND	ND	14,596	7,737	19,718	7,906	ND	ND	ND	ND	ND	ND	25,483	7,929
Nb	ND	ND	ND	ND	4,638	1,696	4,666	1,928	ND	ND	2,249	1,909	ND	ND	3,603	1,875
Ni	9,694	4,088	11,086	4,724	ND	ND	14,058	4,300	ND	ND	6,697	4,707	9,719	4,594	ND	ND
Rb	10,921	2,339	6,163	2,314	3,106	2,315	3,943	2,424	4,367	2,333	12,041	2,430	8,000	2,326	ND	ND
Se	ND	ND	7,131	2,670	ND	ND	6,820	2,793	12,439	2,728	6,951	2,779	7,348	2,717	8,083	2,679
Sn	ND	ND	12,753	5,477	14,365	5,490	10,494	5,695	10,803	5,490	17,750	5,556	ND	ND	16,827	5,483
Sr	4,869	2,106	ND	ND	ND	ND	13,651	2,290	3,149	2,175	10,417	2,242	ND	ND	4,554	2,174
Ti	ND	ND	26,606	13,906	ND	ND	18,710	15,251	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
V	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Y	7,542	2,094	ND	ND	7,236	2,122	9,693	2,198	4,783	2,127	4,017	2,193	4,193	2,120	ND	ND
Zr	5,416	1,972	3,280	1,969	ND	ND	ND	ND	ND	ND	6,513	2,067	ND	ND	ND	ND
Zn	ND	ND	10,351	3,480	15,157	3,525	8,937	3,619	16,616	3,497	15,287	3,585	16,328	3,488	ND	ND
pH	11,06		11,44		11,14		10,89		11,49		11,45		11,47		11,00	
ms/cm	1073		1014		853		1298		1158		1729		2640		1600	

ND significa não detectado.

URM < 0,15 mm (3 DIAS)																
Metal	6 horas		1 dia		2d+6h		4 dias		9 dias		16 dias		36 dias		64 dias	
	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP
As	10,272	2,676	7,361	2,678	*		ND	ND	16,185	2,918	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Ca	201,134	12,546	215,692	12,189	*		79,349	32,004	49,317	34,856	42,093	28,184	ND	ND	36,660	33,416
Cd	19,373	4,816	ND	ND	*		8,705	4,977	ND	ND	8,558	5,217	17,542	4,463	16,813	4,983
Cl	ND	ND	ND	ND	*		ND	ND	7759,204	428,124	6333,226	426,641	5503,514	29,767	4116,448	443,143
Cr	8,316	7,515	ND	ND	*		ND	ND	14,462	9,671	ND	ND	ND	ND	15,443	8,384
Cu	26,968	3,705	33,431	3,785	*		26,522	3,710	22,702	3,972	17,282	3,886	27,978	3,910	31,047	4,015
Fe	22,657	5,914	22,575	6,094	*		34,313	6,036	25,060	6,507	22,539	6,432	24,314	6,224	21,703	6,402
K	83,378	78,002	ND	ND	*		ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	94,145	83,309
Mn	ND	ND	16,355	7,400	*		ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	23,713	8,137
Nb	2,136	1,633	3,324	1,786	*		2,682	1,782	ND	ND	2,314	1,873	4,643	1,862	6,773	1,944
Ni	10,558	3,963	7,670	4,299	*		10,386	4,362	8,324	4,271	8,106	4,703	6,402	4,334	7,609	4,161
Rb	6,914	2,237	9,588	2,263	*		ND	ND	7,582	2,396	4,872	2,359	3,913	2,119	6,481	2,402
Se	8,089	2,614	7,466	2,615	*		ND	ND	6,168	2,819	9,852	2,709	ND	ND	ND	ND
Sn	ND	ND	14,823	5,512	*		11,256	5,425	17,544	5,542	11,881	5,434	ND	ND	ND	ND
Sr	7,354	1,992	ND	ND	*		3,074	2,068	4,822	2,258	6,296	2,183	ND	ND	5,286	2,220
Ti	ND	ND	ND	ND	*		ND	ND	ND	ND	ND	ND	40,208	14,047	ND	ND
V	ND	ND	ND	ND	*		ND	ND	ND	ND	ND	ND	12,876	10,895	ND	ND
Y	ND	ND	ND	ND	*		3,134	2,049	6,603	2,201	9,133	2,168	8,486	2,141	7,175	2,208
Zr	7,055	1,932	6,421	1,924	*		ND	ND	ND	ND	ND	ND	3,801	2,010	ND	ND
Zn	6,002	3,274	14,580	3,108	*		16,566	3,315	16,877	3,366	ND	ND	5,968	3,444	23,656	3,692
pH	11,29		11,39		*		11,04		9,82		10,55		10,50		10,01	
ms/cm	1517		1598		*		1287		107,9		385		275		198,4	

* Amostra perdida em função de vazamento no tanque

ND significa não detectado.

URM <0,15 mm (7 DIAS)																
Metal	6 horas		1 dia		2d+ 6 h		4 dias		9 dias		16 dias		36 dias		64 dias	
	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP
As	9,866	2,750	ND	ND	ND	ND	6,729	2,832	4,218	2,793	6,118	2,712	9,218	2,848	ND	ND
Ca	724,501	17,038	238,792	13,304	122,432	31,986	67,519	34,400	43,010	33,339	61,172	34,260	62,323	29,489	41,480	28,967
Cd	11,802	4,114	8,693	5,082	9,897	5,200	17,387	4,348	12,829	4,956	ND	ND	13,948	4,872	23,571	5,201
Cl	6257,669	431,042	4095,799	431,225	5217,168	438,590	7744,424	430,068	5807,992	432,964	2986,262	389,382	7194,746	434,855	5160,085	430,400
Cr	ND	ND	ND	ND	ND	ND	13,276	9,754	ND	ND	23,602	9,510	ND	ND	29,226	9,412
Cu	16,325	3,802	26,964	3,864	13,642	3,772	24,205	3,986	26,013	3,848	20,533	3,753	25,267	4,015	26,856	3,924
Fe	21,825	6,208	ND	ND	ND	ND	21,309	6,396	10,505	6,314	18,090	6,146	ND	ND	30,102	6,367
K	ND	ND	ND	ND	101,351	71,047	ND	ND	161,431	68,118	ND	ND	134,498	74,050	ND	ND
Mn	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	18,916	7,181	ND	ND	ND	ND
Nb	2,526	1,657	ND	ND	2,488	1,855	ND	ND	2,900	1,725	3,651	1,732	ND	ND	5,282	1,902
Ni	ND	ND	ND	ND	10,185	4,170	5,091	4,591	10,372	4,214	6,822	4,711	ND	ND	ND	ND
Rb	5,772	2,258	ND	ND	6,001	2,328	ND	ND	4,498	2,360	ND	ND	7,517	2,409	7,990	2,366
Se	ND	ND	ND	ND	ND	ND	6,069	2,772	ND	ND	ND	ND	ND	ND	12,644	2,800
Sn	7,521	5,134	18,217	5,474	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	7,800	5,520	12,269	4,966
Sr	6,182	2,096	ND	ND	5,616	2,127	5,440	2,409	5,330	2,734	ND	ND	4,333	2,207	ND	ND
Ti	ND	ND	29,421	15,728	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
V	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Y	ND	ND	ND	ND	5,755	2,130	ND	ND	3,721	2,036	ND	ND	4,890	2,208	ND	ND
Zr	ND	ND	ND	ND	2,694	1,986	3,040	1,891	ND	ND	ND	ND	5,622	2,064	ND	ND
Zn	17,423	3,433	6,625	3,487	16,560	3,497	ND	ND	15,944	3,488	10,351	3,341	16,600	3,529	19,963	3,564
pH	10,98		11,45		11,11		10,73		10,87		10,83		10,50		10,17	
ms/cm	1262		1257		1180		704		1016		568		275		269	

ND significa não detectado.

URM <0,15 mm (28 DIAS)																
Metal	6 horas		1 dias		2d + 6h		4 dias		9 dias		16 dias		36 dias		64 dias	
	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP
As	ND	ND	ND	ND	9,678	2,538	ND	ND	5,728	2,771	9,557	2,897	4,635	2,726	6,262	2,854
Ca	666,202	16,524	388,662	14,100	ND	ND	ND	ND	172,021	12,418	43,636	31,861	38,680	33,036	ND	ND
Cd	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	8,308	4,883	16,968	4,999
Cl	4218,849	426,391	3312,132	419,558	5078,997	419,245	4113,895	386,392	5846,318	433,352	7321,740	435,722	1504,721	432,463	3465,005	413,379
Cr	18,434	10,020	23,575	9,100	22,102	9,239	ND	ND	21,115	8,756	ND	ND	ND	ND	28,163	8,965
Cu	26,166	3,816	21,910	3,852	24,754	3,886	25,114	3,799	34,954	3,963	17,935	3,917	34,294	3,816	25,262	3,966
Fe	15,262	6,243	7,048	6,124	31,415	6,311	23,429	5,989	ND	ND	17,215	6,524	36,170	6,176	14,165	6,467
K	ND	ND	ND	ND	ND	ND	92,761	68,492	ND	ND	202,627	69,199	ND	ND	ND	ND
Mn	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	19,341	7,667	ND	ND
Nb	3,580	1,716	ND	ND	4,095	1,858	ND	ND	4,829	1,884	2,557	1,913	3,235	1,814	ND	ND
Ni	7,873	4,639	7,132	4,695	17,550	4,684	9,523	4,021	ND	ND	ND	ND	9,142	4,264	ND	ND
Rb	5,375	2,310	ND	ND	8,508	2,321	5,512	2,351	4,158	2,357	5,273	2,391	8,622	2,299	ND	ND
Se	15,328	2,774	11,703	2,694	7,541	2,708	11,974	2,724	ND	ND	11,968	2,806	4,350	2,639	12,887	2,848
Sn	20,585	5,461	ND	ND	8,633	5,380	ND	ND	ND	ND	8,222	5,563	11,886	5,456	27,681	5,739
Sr	14,046	2,186	ND	ND	11,414	2,174	ND	ND	7,180	2,171	4,217	2,181	4,458	2,090	4,580	2,229
Ti	ND	ND	ND	ND	32,550	15,210	ND	ND	ND	ND	28,437	15,686	ND	ND	ND	ND
V	21,528	10,732	ND	ND	ND	ND	12,234	10,845	ND	ND	24,576	12,117	ND	ND	ND	ND
Y	ND	ND	ND	ND	8,840	2,115	3,253	2,129	4,985	2,146	8,791	2,197	4,784	2,058	3,699	2,187
Zr	ND	ND	ND	ND	6,592	1,989	8,061	1,989	3,008	2,000	5,335	2,060	4,570	1,943	ND	ND
Zn	ND	ND	16,162	3,234	12,905	3,493	12,982	3,402	17,712	3,529	17,927	3,598	19,538	3,394	18,777	3,621
pH	10,84		11,13		10,64		10,48		11,22		11,15		10,86		10,52	
ms/cm	661		554		493		517		561		625		780		494	

ND significa não detectado.

REF 0,15 mm (3 DIAS)																
Metal	6 horas		1 dia		2d+6h		4 dias		9 dias		16 dias		36 dias		64 dias	
	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP
As	9,353	2,769	5,829	2,396	ND	ND	ND	ND	9,535	2,938	7,525	2,558	ND	ND	7,049	2,828
Ca	140,204	34,561	170,643	35,471	237,013	13,154	203,570	12,868	244,363	13,680	57,364	33,724	294,313	13,591	300,080	13,634
Cd	16,798	4,884	10,070	4,738	13,957	4,385	ND	ND	15,911	4,939	13,057	5,132	ND	ND	15,060	4,845
Cl	4339,376	433,766	ND	ND	5080,018	441,162	ND	ND	8609,047	445,966	6082,796	428,517	5155,220	434,878	7168,943	439,005
Cr	29,339	9,243	ND	ND	16,887	9,823	16,710	9,055	ND	ND	18,860	9,059	12,501	9,345	ND	ND
Cu	25,929	3,910	29,715	3,720	33,468	3,949	17,502	3,708	28,160	4,044	25,439	3,916	12,664	3,833	20,192	3,711
Fe	13,643	5,872	19,666	6,065	15,884	6,181	28,220	5,928	27,961	6,453	18,673	6,369	14,961	6,125	ND	ND
K	109,014	66,760	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	104,467	70,669	ND	ND
Mn	ND	ND	18,653	7,262	ND	ND	14,317	7,362	18,150	7,812	ND	ND	ND	ND	10,401	6,897
Nb	ND	ND	6,431	1,803	3,490	1,875	5,304	1,632	ND	ND	3,737	1,880	ND	ND	3,049	1,903
Ni	8,296	4,590	7,058	3,982	13,390	4,655	ND	ND	19,018	4,800	ND	ND	ND	ND	9,799	4,816
Rb	5,462	2,338	ND	ND	4,393	2,331	ND	ND	8,725	2,448	4,323	2,345	3,561	2,357	3,170	2,395
Se	4,944	2,693	ND	ND	ND	ND	6,887	2,635	ND	ND	4,749	2,579	5,266	2,754	11,619	2,801
Sn	9,803	5,460	23,306	5,418	9,920	5,488	21,865	5,411	11,986	5,582	ND	ND	6,279	5,488	23,717	5,643
Sr	7,805	2,138	8,767	2,088	3,484	2,197	5,800	2,068	8,163	2,274	8,717	2,173	5,914	2,182	3,737	2,204
Ti	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
V	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	14,932	12,879	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Y	3,163	2,128	ND	ND	6,159	2,165	ND	ND	6,456	2,237	3,133	2,159	ND	ND	9,282	2,193
Zr	5,534	1,998	7,792	1,778	ND	ND	5,716	1,920	5,322	2,091	7,432	2,017	2,604	1,995	4,386	2,028
Zn	10,010	3,465	11,381	3,215	10,101	3,447	17,185	3,340	10,559	3,590	18,715	3,591	20,841	3,574	13,305	3,383
pH	11,30		11,55		11,14		11,06		11,14		10,98		11,16		11,08	
ms/cm	2250		2140		2180		1877		1737		1168		781		1093	

ND significa não detectado.

REF 0,15 mm (7 DIAS)																
Metal	6 horas		1 dia		2d+6h		4 dias		9 dias		16 dias		36 dias		64 dias	
	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP
As	ND	ND	ND	ND	12,583	2,031	ND	ND	ND	ND	3,529	2,730	9,613	3,013	7,442	2,926
Ca	519,198	15,403	92,109	37,298	253,718	13,791	664,721	16,776	171,931	12,763	379,513	14,214	421,833	15,023	173,055	33,534
Cd	11,944	4,540	ND	ND	12,837	3,298	11,051	4,861	22,013	4,493	11,680	4,825	10,562	5,190	26,101	5,022
Cl	1549,346	362,162	6134,929	453,881	7394,985	317,117	8031,698	437,934	5391,769	433,457	4024,062	428,484	7621,858	461,232	6431,011	447,018
Cr	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	11,977	9,151	15,750	8,649	18,733	8,771
Cu	20,117	3,583	13,809	4,016	ND	ND	24,909	3,878	28,150	3,934	15,154	3,880	30,509	4,139	35,845	4,183
Fe	ND	ND	7,698	6,546	19,047	4,508	11,915	6,377	24,749	6,329	28,368	6,149	24,992	6,770	12,963	6,727
K	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Mn	14,064	7,243	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	10,817	8,417	ND	ND
Nb	ND	ND	7,279	1,884	4,314	1,344	5,999	1,769	5,774	1,876	ND	ND	7,845	1,964	2,317	1,964
Ni	4,725	3,880	7,785	4,783	ND	ND	5,643	4,925	ND	ND	15,955	4,103	5,889	4,942	ND	ND
Rb	ND	ND	5,626	2,438	ND	ND	11,516	2,436	9,136	2,386	ND	ND	3,272	2,500	9,583	2,444
Se	7,296	2,524	ND	ND	ND	ND	ND	ND	15,937	2,765	11,035	2,738	ND	ND	13,164	2,906
Sn	ND	ND	16,461	5,752	ND	ND	ND	ND	18,265	5,487	14,264	5,464	ND	ND	10,827	5,691
Sr	ND	ND	6,708	2,273	ND	ND	8,589	2,233	4,807	2,195	7,836	2,149	8,779	2,318	ND	ND
Ti	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	24,371	15,557	ND	ND
V	ND	ND	38,999	12,576	ND	ND	ND	ND	ND	ND	11,591	10,774	ND	ND	ND	ND
Y	6,017	1,964	ND	ND	3,818	1,546	7,498	2,122	10,891	2,168	ND	ND	5,386	2,273	5,408	2,260
Zn	12,048	2,990	11,674	3,595	9,626	2,534	14,045	3,622	16,337	3,509	10,167	3,397	15,161	3,725	15,140	3,570
Zr	4,989	1,819	11,255	2,106	ND	ND	4,501	2,067	6,552	1,994	ND	ND	5,449	2,162	4,460	2,119
pH	11,05		11,53		11,29		10,89		10,92		11,09		11,16		11,29	
ms/cm	2040		1779		1678		1587		1744		1087		781		1076	

ND significa não detectado.

REF 0,15 mm (28 DIAS)																
Metal	6 horas		1 dia		2d + 6h		4 dias		9 dias		16 dias		36 dias		64 dias	
	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP
As	7,431	2,702	ND	ND	ND	ND	4,562	2,754	4,716	2,913	7,960	2,895	6,441	2,847	5,223	2,817
Ca	808,353	17,224	381,439	14,086	55,016	34,596	74,204	35,383	1491,216	22,197	363,501	14,072	204,816	12,777	188,288	32,803
Cd	ND	ND	ND	ND	14,471	4,300	ND	ND	ND	ND	12,487	5,305	ND	ND	ND	ND
Cl	2406,139	388,288	4614,594	423,019	5703,132	426,744	4877,833	432,726	6532,051	423,178	8555,320	446,437	6067,455	439,004	5036,227	439,040
Cr	18,163	9,320	ND	ND	16,827	9,558	ND	ND	12,342	9,465	ND	ND	12,664	9,330	ND	ND
Cu	14,931	3,599	21,653	3,874	25,073	3,879	20,518	3,888	21,603	4,065	27,357	4,056	24,955	3,936	24,533	3,879
Fe	14,772	6,104	16,412	6,249	25,714	6,414	24,687	6,338	17,568	6,495	17,460	6,713	23,692	6,460	17,200	5,984
K	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Mn	ND	ND	ND	ND	12,358	7,384	20,203	7,783	ND	ND	ND	ND	17,038	7,843	11,012	7,672
Nb	5,060	1,840	ND	ND	3,561	1,880	ND	ND	6,335	1,928	ND	ND	3,576	1,891	6,610	1,742
Ni	5,868	4,154	ND	ND	12,823	4,270	11,089	4,688	ND	ND	ND	ND	6,611	4,726	8,184	4,213
Rb	ND	ND	ND	ND	3,425	2,345	6,106	2,334	4,455	2,424	ND	ND	5,155	2,383	4,358	2,331
Se	6,219	2,631	10,244	2,750	8,899	2,737	7,269	2,715	5,236	2,833	ND	ND	11,460	2,790	9,030	2,749
Sn	13,871	5,331	ND	ND	ND	ND	13,331	5,516	15,680	5,515	ND	ND	9,339	5,583	16,599	4,977
Sr	3,995	2,129	6,647	2,158	8,306	2,194	6,066	2,163	7,983	2,233	6,398	2,066	8,434	2,197	9,027	2,201
Ti	ND	ND	ND	ND	ND	ND	30,255	15,311	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
V	ND	ND	15,631	10,334	ND	ND	ND	ND	15,132	11,739	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Y	ND	ND	5,625	2,137	ND	ND	8,088	2,146	6,576	2,196	ND	ND	10,125	2,206	6,027	2,160
Zr	ND	ND	4,701	2,011	5,082	2,001	ND	ND	4,622	2,067	ND	ND	6,113	2,027	ND	ND
Zn	11,846	3,442	13,996	3,466	19,042	3,511	ND	ND	5,729	3,550	19,357	3,678	9,654	3,537	11,596	3,435
pH	11,08		11,44		11,11		10,93		11,58		11,46		11,47		10,79	
ms/cm	1348		1239		1180		1682		1934		2010		2480		1168	

ND significa não detectado.

SBC 0,15 mm (3 DIAS)																
Metal	6 horas		1 dia		2d+6h		4 dias		9 dias		16 dias		36 dias		64 dias	
	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP
As	6,329	2,907	3,637	2,883	5,995	2,653	ND	ND	ND	ND	5,474	2,791	3,352	2,735	ND	ND
Ca	41,560	30,308	234,632	13,281	200,952	12,794	223,097	12,702	574,272	16,818	ND	ND	214,084	13,234	310,381	14,268
Cd	ND	ND	17,827	5,044	7,020	4,906	ND	ND	ND	ND	24,334	5,083	17,801	4,437	9,430	5,027
Cl	5118,298	446,022	5518,792	452,064	ND	ND	3844,978	434,746	8343,592	445,726	5109,415	426,026	3406,723	422,395	6262,716	452,436
Cr	25,973	9,660	ND	ND	ND	ND	ND	ND	23,162	10,090	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Cu	27,442	4,033	23,824	4,037	19,649	3,734	23,252	3,821	21,679	3,970	32,228	3,892	22,907	3,843	21,355	3,616
Fe	14,919	6,499	28,588	6,635	31,036	6,080	21,452	6,201	28,123	6,527	18,865	5,881	29,716	6,342	ND	ND
K	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	167,206	69,473	ND	ND
Mn	ND	ND	11,32	7,967	ND	ND	20,180	6,662	23,497	7,980	ND	ND	ND	ND	34,566	8,231
Nb	ND	ND	5,134	1,96	5,818	1,802	3,941	1,712	ND	ND	3,111	1,705	ND	ND	4,108	1,938
Ni	8,612	4,802	7,346	4,965	5,277	3,887	8,639	4,569	5,146	4,802	11,959	4,104	12,920	4,098	ND	ND
Rb	7,503	2,406	6,202	2,465	ND	ND	4,321	2,336	4,930	2,443	9,083	2,340	6,568	2,315	5,876	2,448
Se	ND	ND	ND	ND	13,746	2,639	6,770	2,731	ND	ND	ND	ND	5,610	2,670	9,687	2,882
Sn	7,950	5,635	18,89	5,77	ND	ND	8,948	5,363	10,648	5,505	17,635	5,482	9,575	5,358	17,567	5,780
Sr	7,309	2,239	11,759	2,278	ND	ND	7,317	2,161	9,785	2,069	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Ti	31,699	16,151	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
V	22,539	12,136	20,564	12,607	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Y	6,355	2,202	6,404	2,24	4,445	2,018	6,295	2,106	7,468	2,225	4,257	2,126	6,884	2,119	ND	ND
Zr	5,028	2,059	6,335	2,124	2,091	1,902	2,863	1,991	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Zn	8,273	3,618	7,349	3,627	16,789	3,153	9,398	3,358	10,734	3,628	15,844	3,425	8,921	3,464	4,404	3,658
pH	11,15		11,43		11,08		11,05		11,06		10,86		11,21		11,18	
ms/cm	1650		1811		1879		1631		1710		818		752		1482	

ND significa não detectado.

SBC 0,15 mm (7 DIAS)																
Metal	6 horas		1 dia		2d+6h		4 dias		9 dias		16 dias		36 dias		64 dias	
	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP
As	6,785	2,66	4,467	2,882	5,313	2,005	8,125	2,898	6,794	2,788	ND	ND	8,612	2,924	8,639	2,872
Ca	484,489	15,477	294,484	14,120	69,312	21,612	773,943	18,349	36,308	28,947	430,696	14,280	366,194	14,311	48,329	35,711
Cd	14,556	4,544	5,115	4,861	3,028	3,037	9,513	4,932	6,432	4,887	12,047	4,273	11,796	4,987	14,848	5,137
Cl	4004,771	418,204	6190,437	439,097	8136,478	318,708	7750,589	458,229	5564,754	436,825	4967,968	428,793	8421,660	452,580	3806,407	453,301
Cr	ND	ND	13,869	9,590	15,603	6,502	16,539	8,741	ND	ND	ND	ND	14,921	8,612	16,204	10,112
Cu	26,678	3,743	20,081	4,008	27,775	2,845	19,075	4,057	20,777	3,886	18,746	3,819	26,843	4,034	23,677	3,947
Fe	16,473	6,035	24,648	5,994	9,623	4,546	ND	ND	33,396	6,408	13,756	6,188	25,049	6,727	19,160	6,378
K	ND	ND	ND	ND	100,808	47,998	ND	ND	86,282	74,198	ND	ND	99,786	80,152	ND	ND
Mn	ND	ND	20,425	7,824	6,940	5,361	ND	ND	ND	ND	14,376	7,975	ND	ND	ND	ND
Nb	ND	ND	3,372	1,829	1,945	1,353	2,865	1,795	ND	ND	3,028	1,725	2,742	1,940	7,718	1,941
Ni	ND	ND	10,051	4,262	6,657	3,024	ND	ND	8,677	4,808	ND	ND	ND	ND	8,197	4,869
Rb	ND	ND	11,016	2,391	2,430	1,695	8,929	2,213	12,142	2,384	ND	ND	3,446	2,458	4,974	2,381
Se	10,798	2,66	3,516	2,791	9,225	2,009	8,498	2,790	6,090	2,736	7,511	2,744	6,273	2,813	9,003	2,786
Sn	20,263	4,71	ND	ND	4,458	3,911	11,722	5,680	34,064	5,663	18,048	5,478	17,015	5,573	ND	ND
Sr	3,761	2,034	ND	ND	4,468	1,573	11,394	2,280	8,611	2,187	ND	ND	4,130	2,259	6,993	2,233
Ti	ND	ND	16,182	14,061	14,335	11,345	ND	ND	ND	ND	24,832	14,365	ND	ND	ND	ND
V	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	16,709	11,734
Y	4,732	2,033	ND	ND	ND	ND	5,324	2,213	8,047	2,189	4,648	2,131	ND	ND	4,176	2,173
Zr	ND	ND	5,796	2,065	ND	ND	ND	ND	6,058	1,866	3,317	1,851	4,458	2,094	ND	ND
Zn	14,816	3,305	17,629	3,519	14,440	2,507	13,037	3,598	7,653	3,442	9,756	3,255	6,542	3,587	11,533	3,609
pH	11,04		11,28		11,31		10,89		10,93		11,02		11,21		11,08	
ms/cm	1928		1639		1671		1379		1431		824		752		1455	

ND significa não detectado.

SBC 0,15 mm (28 DIAS)																
Metal	6 horas		1 dia		2d + 6h		4 dias		9 dias		16 dias		36 dias		64 dias	
	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP
As	ND	ND	5,786	2,581	ND	ND	9,802	2,865	ND	ND	8,995	2,752	7,109	2,800	ND	ND
Ca	809,759	17,073	515,256	15,509	55,729	33,790	82,318	34,293	2078,665	24,561	506,050	15,561	63,084	34,495	50,643	35,296
Cd	ND	ND	ND	ND	6,406	5,132	11,619	4,372	ND	ND	15,152	5,016	12,675	4,737	27,034	5,362
Cl	2025,799	384,381	3365,781	428,675	1338,799	442,398	7288,177	429,378	2356,988	422,703	8472,400	438,176	5078,115	445,554	6805,201	461,590
Cr	10,359	9,353	ND	ND	25,167	9,317	ND	ND	ND	ND	19,106	9,646	ND	ND	ND	ND
Cu	24,420	3,740	34,206	3,911	22,152	3,818	33,175	4,086	16,486	3,905	23,804	3,596	28,209	3,884	24,820	3,699
Fe	21,375	6,119	27,597	6,345	29,725	6,366	12,827	5,926	12,392	6,371	22,346	6,387	11,227	6,238	ND	ND
K	ND	ND	ND	ND	ND	ND	113,964	80,849	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Mn	8,354	7,519	16,565	7,557	ND	ND	23,572	8,301	ND	ND	13,450	8,125	ND	ND	11,952	7,905
Nb	6,092	1,842	ND	ND	3,633	1,863	ND	ND	3,837	1,896	4,747	1,802	ND	ND	7,664	1,994
Ni	8,396	4,543	12,216	4,493	14,946	4,691	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	15,993	5,013
Rb	7,353	2,276	8,315	2,347	7,599	2,338	5,240	2,386	ND	ND	3,608	2,234	11,004	2,376	9,733	2,496
Se	9,507	2,661	8,391	2,694	8,980	2,760	9,224	2,788	10,114	2,726	8,849	2,849	6,238	2,736	10,751	2,954
Sn	16,768	5,403	19,004	5,396	16,294	5,532	14,623	5,603	13,470	5,534	15,630	5,621	ND	ND	7,137	5,746
Sr	ND	ND	3,814	2,153	ND	ND	6,672	2,235	11,240	2,224	9,801	2,281	ND	ND	7,657	2,292
Ti	ND	ND	21,872	14,871	ND	ND	ND	ND	22,408	15,339	ND	ND	ND	ND	ND	ND
V	ND	ND	16,182	11,977	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Y	ND	ND	3,994	2,125	3,500	2,115	9,685	2,199	10,353	2,174	5,374	2,248	ND	ND	ND	ND
Zr	ND	ND	3,661	1,813	5,290	1,996	4,858	2,040	4,313	1,833	ND	ND	3,749	2,002	3,709	2,115
Zn	14,141	3,351	14,872	3,447	15,739	3,483	19,559	3,575	13,123	3,573	10,013	3,622	15,273	3,484	9,706	3,684
pH	11,09		11,45		11,18		10,96		11,58		11,56		11,51		10,88	
ms/cm	1401		1324		1169		1605		1882		2150		2720		1374	

ND significa não detectado.

URM 0,15 mm (3 DIAS)																
Metal	6 horas		1 dia		2d+6h		4 dias		9 dias		16 dias		36 dias		64 dias	
	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP
As	7,291	2,643	3,871	2,641	6,564	2,755	ND	ND	9,710	2,874	9,079	2,854	5,866	2,788	3,830	2,821
Ca	100,372	33,246	115,222	30,145	211,202	12,820	282,486	13,092	243,215	13,530	84,361	28,866	73,098	34,416	42,497	32,592
Cd	7,212	4,964	5,352	4,096	10,066	4,370	12,488	5,304	7,060	4,334	6,551	5,212	29,772	5,165	11,087	4,320
Cl	ND	ND	ND	ND	ND	ND	2012,033	458,810	8926,567	451,335	6026,169	438,833	6302,359	426,202	6341,415	444,585
Cr	17,663	8,851	9,344	8,569	ND	ND	11,617	9,427	ND	ND	ND	ND	14,895	9,456	28,451	9,734
Cu	27,492	3,737	30,931	3,736	26,629	3,895	22,852	3,878	34,012	4,070	32,473	3,913	33,887	3,985	24,009	3,977
Fe	26,200	6,1	15,299	6,085	35,157	6,259	ND	ND	13,488	6,472	12,951	6,088	11,925	6,352	17,219	6,309
K	123,412	67,561	97,041	76,947	102,052	67,702	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Mn	11,752	7,195	ND	ND	11,980	7,552	ND	ND	11,961	7,030	8,995	7,878	ND	ND	ND	ND
Nb	4,795	1,8	3,294	1,803	3,192	1,872	ND	ND	2,256	1,948	ND	ND	6,133	1,744	4,318	1,748
Ni	ND	ND	7,669	4,425	21,313	4,752	10,510	4,656	ND	ND	7,893	4,109	ND	ND	ND	ND
Rb	5,338	2,245	ND	ND	ND	ND	7,643	2,378	ND	ND	ND	ND	10,906	2,401	3,996	2,416
Se	4,215	2,585	5,553	2,576	5,958	2,662	10,172	2,754	10,705	2,870	8,513	2,767	13,315	2,780	6,182	2,790
Sn	14,168	5,298	16,817	5,352	ND	ND	ND	ND	22,230	5,584	15,023	5,457	16,904	5,586	6,552	5,432
Sr	5,081	2,057	7,950	2,075	ND	ND	8,022	2,189	ND	ND	7,114	2,200	ND	ND	4,343	2,184
Ti	32,305	14,842	ND	ND	ND	ND	ND	ND	42,646	16,699	ND	ND	ND	ND	ND	ND
V	25,734	9,675	ND	ND	15,125	11,833	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Y	3,082	2,03	3,921	2,025	ND	ND	8,878	2,154	6,174	2,217	6,748	2,154	ND	ND	ND	ND
Zr	5,671	1,917	5,240	1,919	7,098	2,018	ND	ND	4,239	1,989	ND	ND	6,405	2,025	ND	ND
Zn	13,145	3,341	16,396	3,315	12,176	3,481	5,840	3,379	15,363	3,580	19,646	3,599	9,707	3,439	17,872	3,549
pH	11,40		11,45		11,09		11,13		11,06		10,63		10,77		9,83	
ms/cm	1824		1742		1874		1663		1359		522		330		220	

ND significa não detectado.

URM 0,15 mm (7 DIAS)																
Metal	6 horas		1 dia		2d+6h		4 dias		9 dias		16 dias		36 dias		64 dias	
	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP
As	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	3,019	2,829	8,846	2,933	12,552	2,821
Ca	398,403	14,694	430,608	14,784	65,816	20,705	249,366	13,545	31,819	27,857	377,570	14,435	54,427	33,885	47,834	30,776
Cd	9,832	4,339	13,868	5,428	9,866	3,060	ND	ND	14,654	4,979	14,257	4,230	12,824	4,314	17,465	5,088
Cl	5297,101	441,346	4611,242	416,177	7329,919	305,170	7495,924	445,912	5245,915	434,142	4682,084	419,799	8824,804	451,670	4800,874	421,196
Cr	ND	ND	24,442	9,865	14,738	6,053	ND	ND	ND	ND	ND	ND	12,286	9,921	26,184	9,190
Cu	27,850	4,092	37,111	4,075	22,887	2,773	29,505	3,992	22,439	3,882	24,740	3,964	22,164	3,998	35,219	3,944
Fe	29,821	6,683	16,253	6,601	ND	ND	9,975	6,399	20,494	6,469	11,482	6,284	19,895	6,445	22,534	6,277
K	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Mn	ND	ND	17,007	7,892	9,994	4,881	19,122	7,783	ND	ND	15,798	6,544	13,981	8,231	10,263	7,419
Nb	ND	ND	ND	ND	ND	ND	6,494	1,782	4,330	1,892	3,712	1,877	4,829	1,928	4,259	1,869
Ni	10,609	4,818	12,741	4,207	9,207	2,941	7,755	4,760	ND	ND	ND	ND	ND	ND	14,685	4,186
Rb	5,601	2,463	9,507	2,448	ND	ND	6,660	2,420	4,990	2,334	4,198	2,358	5,695	2,420	7,084	2,349
Se	3,802	2,816	ND	ND	6,918	1,866	4,923	2,784	12,502	2,733	6,346	2,744	ND	ND	ND	ND
Sn	11,123	5,550	13,213	5,729	ND	ND	14,581	5,584	ND	ND	24,218	5,546	13,758	5,530	9,371	5,472
Sr	ND	ND	5,846	2,245	7,023	1,560	11,831	2,252	ND	ND	4,266	1,972	6,413	2,256	3,683	2,158
Ti	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
V	ND	ND	ND	ND	ND	ND	31,419	11,076	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Y	7,181	1,967	5,617	2,230	ND	ND	4,034	2,189	ND	ND	ND	ND	6,637	2,221	4,971	2,108
Zr	ND	ND	ND	ND	3,724	1,432	6,783	2,073	3,987	2,002	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Zn	18,083	3,608	18,540	3,614	8,539	2,501	5,268	3,560	12,543	3,413	9,722	3,546	13,440	3,561	7,565	3,202
pH	11,24		11,43		11,29		10,98		10,90		10,92		10,77		10,31	
ms/cm	1748		1350		1369		1129		1168		724		330		245	

ND significa não detectado.

URM 0,15 mm (28 DIAS)																
Metal	6 horas		1 dia		2d + 6h		4 dias		9 dias		16 dias		36 dias		64 dias	
	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP
As	7,596	2,814	4,833	2,981	ND	ND	5,393	2,789	7,656	2,739	ND	ND	7,344	2,819	6,263	2,784
Ca	76,041	29,277	81,482	33,891	33,178	28,426	117,510	29,530	942,129	18,292	294,351	14,146	ND	ND	45,694	33,144
Cd	14,979	4,304	ND	ND	ND	ND	15,849	4,765	ND	ND	18,671	5,156	24,681	4,435	8,517	4,817
Cl	5627,690	435,517	6540,029	364,331	4361,029	424,543	4659,971	422,878	1786,557	431,269	6669,155	438,236	5760,284	442,659	4308,484	431,813
Cr	ND	ND	15,948	10,252	ND	ND	16,777	9,372	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Cu	20,278	3,917	31,832	4,107	23,354	3,777	27,747	3,884	19,390	3,814	25,661	3,945	23,787	3,879	33,004	3,906
Fe	23,168	5,981	17,700	6,591	20,121	6,214	12,166	6,423	16,448	6,044	12,708	6,389	18,744	6,314	21,914	6,231
K	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	139,358	69,624	ND	ND	ND	ND
Mn	ND	ND	11,984	8,209	16,277	7,745	10,107	7,670	ND	ND	25,130	7,619	ND	ND	14,733	6,591
Nb	3,690	1,878	4,297	1,996	7,086	1,716	7,251	1,859	ND	ND	3,316	1,923	ND	ND	3,676	1,885
Ni	ND	ND	15,382	4,421	9,799	4,700	12,112	4,145	ND	ND	8,587	4,753	ND	ND	15,110	4,656
Rb	5,612	2,318	6,280	2,496	9,045	2,327	3,155	2,316	ND	ND	10,287	2,427	11,231	2,377	7,018	2,346
Se	2,996	2,711	12,637	2,948	ND	ND	8,313	2,705	ND	ND	ND	ND	10,255	2,775	5,040	2,687
Sn	16,929	5,490	18,334	5,831	16,556	5,486	14,606	4,870	21,479	5,400	ND	ND	ND	ND	16,272	5,485
Sr	ND	ND	ND	ND	6,779	2,143	5,008	2,166	ND	ND	ND	ND	5,984	2,187	3,434	2,143
Ti	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	27,809	15,284	ND	ND	ND	ND	ND	ND
V	ND	ND	15,108	12,312	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	12,697	11,639
Y	3,379	2,150	10,297	2,302	6,852	2,107	9,628	2,146	ND	ND	4,401	2,185	6,337	2,165	ND	ND
Zr	2,345	1,983	5,168	2,140	7,738	1,976	ND	ND	ND	ND	ND	ND	3,478	2,018	ND	ND
Zn	ND	ND	16,780	3,741	12,156	3,397	19,661	3,455	12,548	3,343	ND	ND	13,423	3,430	12,047	3,446
pH	11,02		11,37		10,86		10,87		11,49		11,15		10,70		9,88	
ms/cm	1088		1001		991		1273		1327		1101		464		299	

ND significa não detectado.

REF 0,3 mm (3 DIAS)																
Metal	6 horas		1 dia		2d+6h		4 dias		9 dias		16 dias		36 dias		64 dias	
	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP
As	7,308	2,792	4,154	2,611	ND	ND	ND	ND	ND	ND	7,648	2,801	7,357	2,798	8,182	2,802
Ca	125,159	34,327	89,135	31,556	229,764	13,396	280,625	13,532	362,149	14,661	103,993	31,105	650,635	16,533	253,072	13,480
Cd	10,251	5,065	22,013	4,657	10,846	4,250	ND	ND	20,209	5,423	7,340	5,087	13,868	4,798	ND	ND
Cl	4685,726	424,41	ND	ND	1545,745	399,206	3872,379	429,178	8038,420	458,054	4627,253	426,653	5195,872	440,623	4822,026	440,499
Cr	17,418	8,092	ND	ND	ND	ND	18,231	9,157	19,458	9,811	ND	ND	17,205	9,029	ND	ND
Cu	24,67	3,873	29,929	3,688	22,817	3,830	29,771	3,488	27,705	4,160	21,637	3,837	31,280	3,983	28,399	3,940
Fe	7,576	6,444	21,093	6,006	31,700	6,129	ND	ND	18,397	6,360	21,409	6,282	ND	ND	28,748	6,563
K	178,226	67,734	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Mn	13,493	7,075	ND	ND	24,597	6,915	10,170	7,432	ND	ND	ND	ND	ND	ND	12,785	7,729
Nb	3,39	1,879	3,822	1,758	2,978	1,825	ND	ND	5,512	1,839	ND	ND	3,037	1,887	4,278	1,808
Ni	ND	ND	8,754	4,100	10,103	4,133	20,259	4,183	ND	ND	ND	ND	ND	ND	6,983	4,638
Rb	12,677	2,368	ND	ND	9,714	2,298	ND	ND	6,351	2,510	ND	ND	ND	ND	6,989	2,354
Se	8,623	2,788	6,005	2,578	7,967	2,693	14,852	2,726	10,943	2,912	14,167	2,719	6,099	2,748	ND	ND
Sn	21,84	5,504	ND	ND	17,480	5,560	ND	ND	8,484	5,931	ND	ND	ND	ND	17,894	5,521
Sr	11,247	2,191	ND	ND	8,325	2,108	ND	ND	ND	ND	9,101	2,143	4,569	2,198	9,601	2,177
Ti	15,553	14,906	ND	ND	ND	ND	24,979	15,521	ND	ND	ND	ND	ND	ND	32,278	14,158
V	24,399	11,455	ND	ND	ND	ND	21,666	11,582	ND	ND	ND	ND	16,652	10,326	ND	ND
Y	ND	ND	4,906	2,022	11,116	2,120	5,274	2,110	4,599	2,299	ND	ND	7,468	2,169	ND	ND
Zr	3,934	2,018	2,788	1,874	2,639	1,871	3,003	1,977	ND	ND	6,850	2,002	ND	ND	ND	ND
Zn	12,063	3,532	16,771	3,319	17,395	3,257	9,691	3,410	15,400	3,711	ND	ND	5,281	3,538	5,426	3,514
pH	11,24		11,45		11,08		11,10		11,17		11,03		10,94		10,88	
ms/cm	2080		2020		2070		1846		1777		1172		489		814	

ND significa não detectado.

REF 0,3 mm (7 DIAS)																
Metal	6 horas		1 dia		2d+6h		4 dias		9 dias		16 dias		36 dias		64 dias	
	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP
As	ND	ND	ND	ND	5,955	2,033	ND	ND	10,001	2,840	9,648	2,778	ND	ND	ND	ND
Ca	726,293	16,407	231,153	13,394	46,921	25,639	759,243	17,500	98,581	34,103	44,439	33,617	32,747	31,095	54,403	33,246
Cd	ND	ND	ND	ND	ND	ND	15,216	5,259	18,908	4,951	14,161	4,803	14,847	5,170	21,826	5,131
Cl	1914,466	407,93	5563,770	421,230	6852,520	320,868	6985,210	446,268	6648,822	437,744	4918,906	433,077	6504,172	448,818	5312,460	448,091
Cr	16,409	8,644	13,941	8,360	ND	ND	13,958	9,558	14,000	9,705	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Cu	19,106	3,556	16,990	3,881	21,322	2,831	19,274	3,998	25,476	4,040	22,236	3,832	18,749	3,983	27,110	3,883
Fe	29,162	5,92	ND	ND	7,886	4,475	19,167	6,519	ND	ND	21,758	6,296	ND	ND	14,621	6,186
K	ND	ND	ND	ND	76,475	52,014	ND	ND	81,400	70,444	ND	ND	ND	ND	144,112	65,997
Mn	ND	ND	ND	ND	22,727	5,571	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Nb	3,099	1,665	4,322	1,903	2,319	1,327	ND	ND	4,861	1,940	ND	ND	6,227	1,748	3,208	1,870
Ni	5,389	3,886	12,278	4,174	ND	ND	ND	ND	12,878	4,219	10,949	4,606	ND	ND	7,001	4,703
Rb	3,928	2,091	9,282	2,363	ND	ND	ND	ND	6,767	2,404	5,505	2,328	ND	ND	8,047	2,366
Se	ND	ND	9,000	2,718	6,522	1,971	3,685	2,791	8,059	2,767	12,269	2,728	7,173	2,767	10,867	2,727
Sn	11,831	4,888	ND	ND	5,932	3,861	13,259	5,590	18,214	5,556	17,393	5,412	13,089	5,451	ND	ND
Sr	3,246	1,924	8,052	2,189	3,347	1,550	7,616	2,248	11,796	2,239	5,714	2,165	4,941	2,211	7,616	2,164
Ti	ND	ND	ND	ND	25,893	11,314	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
V	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	18,136	10,757	14,798	10,360	ND	ND	ND	ND
Y	4,644	1,923	3,595	2,171	2,365	1,528	ND	ND	6,588	2,181	5,373	2,109	8,265	2,176	8,438	2,131
Zr	ND	ND	ND	ND	ND	ND	7,714	2,071	5,863	2,055	4,413	1,990	6,341	2,055	3,365	1,970
Zn	8,415	3,241	13,134	3,428	ND	ND	16,656	3,555	ND	ND	8,619	3,468	ND	ND	7,540	3,435
pH	11,00		11,58		11,41		10,90		11,09		10,92		10,93		11,40	
ms/cm	1977		1867		1748		1421		1662		1016		512		716	

ND significa não detectado.

REF 0,3 mm (28 DIAS)																
Metal	6 horas		1 dia		2d + 6h		4 dias		9 dias		16 dias		36 dias		64 dias	
	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP
As	12,582	2,801	ND	ND	5,632	2,714	3,999	2,803	7,119	2,728	8,932	2,884	4,208	2,865	ND	ND
Ca	112,479	33,738	1068,304	19,288	98,182	32,626	187,530	12,243	585,801	15,757	405,020	15,023	119,501	32,617	112,841	31,132
Cd	7,284	4,177	14,482	4,818	9,887	5,026	10,124	5,226	ND	ND	10,541	5,137	ND	ND	7,301	5,167
Cl	3567,751	380,145	4611,108	431,373	3831,439	418,480	1451,016	442,142	2327,708	421,466	7885,271	440,929	4392,753	406,288	5547,770	434,565
Cr	16,382	8,764	28,596	9,681	14,986	8,036	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	17,629	8,000
Cu	32,528	3,840	11,102	3,795	29,212	3,820	26,993	3,900	13,793	3,828	26,347	4,033	25,664	4,081	28,455	4,035
Fe	21,397	6,105	24,023	6,343	18,687	6,237	31,879	6,331	26,559	6,116	11,181	6,384	37,409	6,483	24,412	6,252
K	ND	ND	ND	ND	ND	ND	71,071	69,823	ND	ND	ND	ND	ND	ND	102,591	77,036
Mn	ND	ND	14,678	7,440	7,733	6,740	18,567	7,665	10,134	7,536	ND	ND	ND	ND	8,136	7,581
Nb	7,028	1,706	ND	ND	2,558	1,844	ND	ND	5,785	1,832	ND	ND	2,330	1,926	ND	ND
Ni	5,546	4,440	6,674	4,183	6,239	4,022	ND	ND	11,257	4,710	ND	ND	ND	ND	6,867	4,767
Rb	7,337	2,309	9,310	2,369	6,952	2,092	7,650	2,367	4,413	2,303	9,215	2,437	3,213	2,163	3,783	2,346
Se	8,437	2,684	12,190	2,758	ND	ND	ND	ND	5,296	2,670	14,156	2,831	7,290	2,809	10,476	2,763
Sn	10,305	5,396	ND	ND	ND	ND	10,700	5,541	ND	ND	14,021	5,548	ND	ND	8,901	5,537
Sr	ND	ND	4,079	2,166	ND	ND	6,879	2,172	ND	ND	ND	ND	12,998	2,285	9,586	2,203
Ti	19,050	14,672	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	35,905	14,162	ND	ND	ND	ND
V	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Y	4,560	2,082	ND	ND	4,430	2,100	4,277	2,133	6,222	2,092	3,018	2,194	3,839	2,008	4,837	2,134
Zr	4,707	1,969	ND	ND	ND	ND	ND	ND	2,735	1,948	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Zn	14,927	3,377	ND	ND	22,369	3,557	7,966	3,435	14,575	3,434	16,205	3,526	19,694	3,543	11,666	3,443
pH	11,01		11,29		11,28		10,96		11,63		11,53		11,30		11,11	
ms/cm	1404		1387		1204		1818		1962		1526		2270		1416	

ND significa não detectado.

SBC 0,3 mm (3 DIAS)																
Metal	6 horas		1 dia		2d+6h		4 dias		9 dias		16 dias		36 dias		64 dias	
	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP
As	6,052	2,531	ND	ND	8,361	2,686	11,991	2,706	ND	ND	5,486	2,850	10,779	2,744	ND	ND
Ca	64,449	30,186	188,700	12,305	92,041	33,553	272,872	13,628	338,605	14,111	93,947	34,384	30,267	27,248	121,433	34,096
Cd	22,562	4,963	24,783	4,332	15,136	4,254	ND	ND	12,828	5,196	10,543	4,941	14,228	4,738	12,071	5,246
Cl	3672,284	432,539	ND	ND	ND	ND	4958,177	437,943	8784,615	44,534	4406,258	450,757	3090,173	423,629	5631,349	447,958
Cr	19,742	9,392	40,874	8,640	17,274	8,773	ND	ND	15,107	9,547	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Cu	20,222	3,932	20,544	3,439	27,789	3,787	33,408	3,940	33,689	4,089	21,907	3,950	24,263	3,785	33,930	3,970
Fe	25,343	6,349	11,268	5,143	22,738	6,040	18,036	6,268	30,350	6,525	8,601	6,462	18,726	6,241	18,736	6,122
K	ND	ND	ND	ND	ND	ND	98,355	76,170	ND	ND	167,162	71,877	89,193	74,277	ND	ND
Mn	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	19,226	8,153	ND	ND	9,989	6,496	ND	ND
Nb	4,752	1,909	ND	ND	2,601	1,780	ND	ND	ND	ND	ND	ND	8,525	1,851	4,278	1,745
Ni	10,607	4,731	ND	ND	ND	ND	8,741	4,209	ND	ND	ND	ND	ND	ND	14,316	4,131
Rb	ND	ND	5,732	2,038	4,411	2,242	7,667	2,334	5,628	2,423	7,169	2,409	7,613	2,312	5,630	2,363
Se	ND	ND	ND	ND	7,250	2,631	12,626	2,727	6,184	2,834	11,860	2,793	ND	ND	13,430	2,800
Sn	ND	ND	ND	ND	7,717	5,332	7,211	5,455	23,526	5,238	18,249	5,660	7,579	5,441	19,356	5,482
Sr	5,486	2,225	5,467	1,857	13,254	2,075	ND	ND	8,800	2,249	3,825	2,224	3,623	2,104	8,946	2,217
Ti	ND	ND	ND	ND	31,232	13,306	ND	ND	ND	ND	ND	ND	41,162	15,685	ND	ND
V	33,015	11,22	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Y	5,007	2,197	ND	ND	ND	ND	ND	ND	4,056	2,182	3,568	2,208	5,659	2,075	9,060	2,177
Zr	4,873	2,059	6,254	1,741	6,208	1,913	2,046	1,983	ND	ND	ND	ND	ND	ND	3,654	2,018
Zn	7,603	3,528	18,785	3,171	11,889	3,263	13,911	3,392	ND	ND	10,531	3,540	ND	ND	16,275	3,557
pH	11,25		11,36		11,03		11,06		11,06		10,9		10,93		10,84	
ms/cm	1938		1802		1728		1648		1360		848		512		729	

ND significa não detectado.

SBC 0,3 mm (7 DIAS)																
Metal	6 horas		1 dia		2d+6h		4 dias		9 dias		16 dias		36 dias		64 dias	
	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP
As	5,068	2,781	3,238	2,992	ND	ND	5,456	2,829	7,846	2,947	ND	ND	6,649	2,878	5,763	2,788
Ca	920,293	18,040	338,435	14,675	235,966	13,627	595,032	16,337	190,551	12,649	88,382	29,427	31,472	29,959	64,115	33,491
Cd	12,270	4,283	10,095	5,120	13,428	3,073	18,278	4,943	ND	ND	17,826	4,792	25,190	5,241	7,967	4,269
Cl	2642,602	430,890	7075,705	447,563	7000,936	312,261	6728,332	439,279	5237,333	459,386	4487,799	428,735	8048,187	58,933	5012,893	393,160
Cr	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	26,792	8,978	19,250	9,559	ND	ND	ND	ND
Cu	22,455	3,789	22,294	3,916	24,499	2,811	28,255	4,037	30,327	4,042	24,188	3,858	31,465	4,083	12,912	3,892
Fe	23,622	6,145	ND	ND	ND	ND	ND	ND	26,144	6,419	17,550	6,264	12,239	6,468	ND	ND
K	155,762	65,156	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	166,288	70,357	ND	ND
Mn	ND	ND	14,024	8,005	ND	ND	15,408	6,826	ND	ND	8,907	6,480	ND	ND	17,808	7,828
Nb	2,685	1,844	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	3,223	1,852	ND	ND	4,672	1,855
Ni	19,875	4,576	5,944	4,987	5,707	3,443	ND	ND	11,050	4,324	ND	ND	ND	ND	6,946	4,777
Rb	7,928	2,305	ND	ND	ND	ND	8,115	2,386	7,091	2,205	ND	ND	ND	ND	9,762	2,352
Se	7,624	2,684	6,116	2,853	3,842	1,950	10,415	2,762	ND	ND	3,873	2,645	13,005	2,823	5,828	2,748
Sn	14,251	5,397	ND	ND	9,003	3,919	ND	ND	18,541	5,813	11,068	5,528	7,530	5,586	ND	ND
Sr	10,315	2,139	ND	ND	4,113	1,555	5,382	2,225	5,757	2,263	8,696	2,167	8,479	2,239	7,392	2,168
Ti	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
V	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Y	9,898	2,114	ND	ND	8,077	1,544	6,095	2,185	9,681	2,221	ND	ND	ND	ND	3,820	2,123
Zr	6,653	1,964	ND	ND	ND	ND	5,289	2,067	4,880	1,918	5,056	1,989	ND	ND	ND	ND
Zn	17,566	3,393	5,896	3,698	ND	ND	16,193	3,597	ND	ND	20,341	3,524	10,219	3,556	9,757	3,398
pH	11,00		11,58		11,41		10,90		11,09		10,92		10,93		11,52	
ms/cm	1977		1867		1748		1421		1662		1016		512		878	

ND significa não detectado.

SBC 0,3 mm (28 DIAS)																
Metal	6 horas		1 dia		2d + 6h		4 dias		9 dias		16 dias		36 dias		64 dias	
	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP
As	ND	ND	ND	ND	4,508	2,799	7,901	2,659	5,884	2,809	7,403	2,953	ND	ND	10,433	3,002
Ca	ND	ND	626,654	45,911	72,307	29,079	180,614	32,162	283,669	13,805	366,120	15,059	76,110	28,870	ND	ND
Cd	21,483	4,370	16,837	4,746	9,209	5,063	12,453	5,039	ND	ND	ND	ND	ND	ND	20,265	5,553
Cl	5729,728	432,889	2589,519	415,595	4710,324	386,277	6309,575	451,444	5255,158	419,568	9446,221	452,955	3945,906	402,646	7595,948	454,845
Cr	ND	ND	12,624	9,276	ND	ND	ND	ND	15,876	9,710	ND	ND	20,142	9,698	21,959	9,986
Cu	26,357	3,815	29,637	3,873	34,835	3,899	32,279	4,077	26,879	3,676	19,732	3,574	19,373	3,801	25,264	4,120
Fe	13,374	6,143	13,273	6,081	23,734	5,831	33,730	6,709	24,675	6,288	17,669	6,529	19,415	6,284	23,521	6,750
K	ND	ND	ND	ND	200,012	75,275	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	210,063	72,134
Mn	ND	ND	ND	ND	ND	ND	13,111	7,061	12,330	7,475	ND	ND	11,537	6,559	19,432	8,067
Nb	3,160	1,861	ND	ND	2,841	1,885	5,258	1,988	ND	ND	3,616	1,989	7,192	1,866	3,217	2,018
Ni	8,555	4,668	ND	ND	14,834	4,089	17,611	4,968	ND	ND	ND	ND	6,147	4,576	ND	ND
Rb	4,761	2,380	ND	ND	6,208	2,318	9,344	2,518	3,808	2,376	ND	ND	5,831	2,353	7,681	2,512
Se	5,232	2,720	ND	ND	9,056	2,706	ND	ND	9,195	2,754	12,440	2,874	11,606	2,680	11,923	2,951
Sn	12,371	5,506	ND	ND	20,339	5,451	17,188	5,749	16,017	5,418	7,508	5,654	ND	ND	10,172	5,748
Sr	8,488	2,186	7,659	2,137	9,615	2,184	7,112	2,304	8,913	2,171	ND	ND	9,238	2,166	ND	ND
Ti	ND	ND	ND	ND	ND	ND	31,030	15,414	ND	ND	19,696	14,972	ND	ND	32,443	16,118
V	19,614	9,926	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	20,597	12,715
Y	4,545	2,126	ND	ND	3,729	2,113	4,219	2,246	3,415	2,142	4,319	2,234	7,949	2,134	3,598	2,257
Zr	3,430	2,011	ND	ND	5,983	2,003	ND	ND	2,556	1,997	3,179	1,933	3,267	1,971	3,541	2,151
Zn	17,673	3,556	12,939	3,241	9,536	3,432	19,881	3,711	20,620	3,502	21,758	3,694	9,521	3,243	10,668	3,626
pH	10,84		11,10		11,18		10,88		11,49		11,44		11,27		11,11	
ms/cm	1139		1053		922		1368		1234		1232		1844		1358	

ND significa não detectado.

REF 0,6 mm (3 DIAS)																
Metal	6 horas		1 dia		2d+6h		4 dias		9 dias		16 dias		36 dias		64 dias	
	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP
As	ND	ND	8,703	2,648	12,208	2,683	13,423	2,787	6,694	2,863	4,459	2,542	4,812	2,806	9,027	2,948
Ca	223,458	12,625	277,791	13,114	263,456	13,127	344,923	14,332	545,960	16,175	109,794	30,551	43,889	29,356	313,474	13,864
Cd	22,125	5,193	ND	ND	ND	ND	15,762	5,123	28,663	5,309	15,289	4,824	ND	ND	ND	ND
Cl	ND	ND	ND	ND	ND	ND	4791,546	424,903	8269,833	461,506	6232,806	428,566	4969,380	432,505	5530,119	430,304
Cr	14,515	9,248	ND	ND	13,317	8,620	ND	ND	ND	ND	13,541	9,520	ND	ND	10,992	9,805
Cu	31,195	3,975	32,009	3,754	28,513	3,668	25,259	3,944	29,745	4,074	23,454	3,871	22,750	3,489	27,057	4,041
Fe	19,083	6,235	15,405	5,997	17,619	5,715	23,152	6,461	20,871	6,548	22,181	6,304	15,629	6,284	8,652	6,535
K	ND	ND	ND	ND	142,499	67,749	ND	ND	ND	ND	ND	ND	79,807	72,964	ND	ND
Mn	14,021	7,526	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Nb	2,648	1,842	4,358	1,784	ND	ND	ND	ND	4,589	1,940	4,783	1,743	ND	ND	3,692	1,784
Ni	6,453	4,690	8,811	4,291	9,591	4,460	ND	ND	8,438	4,754	ND	ND	ND	ND	10,431	4,933
Rb	ND	ND	7,716	2,222	5,930	2,247	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Se	10,749	2,722	ND	ND	6,560	2,591	5,066	2,706	ND	ND	13,810	2,777	6,053	2,786	ND	ND
Sn	ND	ND	14,637	5,350	ND	ND	18,824	5,540	13,584	5,540	ND	ND	19,885	5,526	ND	ND
Sr	12,021	2,175	6,006	2,081	6,608	2,091	6,155	2,167	ND	ND	ND	ND	8,967	2,151	8,238	2,258
Ti	ND	ND	21,541	13,840	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	19,612	14,290	ND	ND
V	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	18,986	11,643	ND	ND
Y	12,473	2,129	6,646	1,805	ND	ND	9,799	2,120	4,616	2,216	6,182	2,165	10,601	2,124	5,749	2,226
Zr	5,549	1,993	3,033	1,906	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	4,566	1,997	ND	ND
Zn	14,696	3,445	6,321	3,155	11,966	3,285	13,139	3,486	7,455	3,635	17,880	3,524	12,303	3,410	ND	ND
pH	11,43		11,57		11,13		11,13		11,17		11,05		10,88		10,96	
ms/cm	2600		2410		2350		1825		1958		1171		410		994	

ND significa não detectado.

REF 0,6 mm (7 DIAS)																
Metal	6 horas		1 dia		2d+6h		4 dias		9 dias		16 dias		36 dias		64 dias	
	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP
As	ND	ND	ND	ND	10,612	2,879	12,192	2,917	ND	ND	4,120	2,711	10,676	2,902	3,194	2,837
Ca	931,826	18,37	124,643	33,713	234,567	13,144	123,946	32,989	229,644	13,244	367,448	14,159	89,308	32,076	45,436	33,675
Cd	ND	ND	17,631	5,048	14,016	5,180	13,635	4,956	ND	ND	ND	ND	12,083	4,476	22,567	4,882
Cl	2078,305	423,869	5282,387	401,814	6036,652	438,535	8673,414	464,034	6637,105	453,821	3964,254	417,935	8702,736	430,407	6483,269	433,391
Cr	ND	ND	ND	ND	13,826	9,655	28,937	8,711	22,879	9,781	17,827	9,832	10,392	9,394	ND	ND
Cu	12,274	3,751	20,481	3,875	27,577	3,950	25,643	4,039	24,850	4,083	20,095	3,805	26,038	4,016	29,719	4,004
Fe	19,209	6,19	9,653	5,766	16,935	6,318	27,662	6,305	24,464	6,442	17,932	6,175	14,911	6,369	16,939	6,268
K	ND	ND	ND	ND	89,970	68,310	ND	ND	ND	ND	73,263	67,536	ND	ND	79,125	68,178
Mn	ND	ND	ND	ND	21,576	7,760	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	16,185	7,945
Nb	2,341	1,784	3,314	1,850	2,634	1,894	3,232	1,949	6,558	1,819	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Ni	ND	ND	12,723	4,221	7,119	4,679	ND	ND	ND	ND	11,538	4,666	ND	ND	12,434	4,730
Rb	9,932	2,254	ND	ND	ND	ND	7,909	2,416	6,938	2,454	ND	ND	ND	ND	5,515	2,406
Se	3,605	2,626	ND	ND	7,455	2,756	4,035	2,816	ND	ND	10,732	2,690	ND	ND	4,005	2,778
Sn	7,532	5,307	ND	ND	17,499	5,634	ND	ND	16,345	5,749	10,748	5,448	ND	ND	16,703	5,579
Sr	ND	ND	ND	ND	3,485	2,201	8,996	2,268	ND	ND	6,157	2,173	ND	ND	5,629	2,228
Ti	ND	ND	ND	ND	25,289	14,288	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
V	ND	ND	ND	ND	15,664	12,055	ND	ND	23,515	12,504	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Y	4,556	2,05	8,719	2,153	3,651	2,151	3,996	2,195	5,468	2,227	5,749	2,127	8,361	2,233	ND	ND
Zr	4,387	1,939	ND	ND	ND	ND	5,055	2,068	7,696	2,116	4,264	1,820	7,441	2,079	ND	ND
Zn	13,753	3,339	19,088	3,486	18,351	3,541	19,112	3,625	10,510	3,403	11,777	3,380	15,924	3,692	1ND	3,538
pH	11,08		11,45		11,50		11,02		11,15		10,98		10,88		10,96	
ms/cm	2100		1906		1960		1792		1948		956		410		849	

ND significa não detectado.

REF 0,6 mm (28 DIAS)																
Metal	6 horas		1 dia		2d + 6h		4 dias		9 dias		16 dias		36 dias		64 dias	
	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP
As	8,103	2,738	ND	ND	8,947	2,812	10,431	2,932	8,651	2,918	13,229	2,652	6,244	2,717	ND	ND
Ca	60,971	28,198	847,713	17,470	261,469	13,927	117,434	35,282	169,202	13,175	378,775	14,745	219,544	12,707	81,639	31,094
Cd	13,800	4,222	ND	ND	25,224	4,940	ND	ND	20,931	5,314	10,142	4,944	21,399	4,934	30,443	5,364
Cl	3899,130	395,521	1922,197	414,793	5675,897	428,989	4596,925	437,188	4652,176	445,191	7810,824	441,378	3831,113	429,084	4643,008	448,989
Cr	19,719	8,310	16,312	7,968	22,115	9,539	ND	ND	17,814	9,842	33,166	9,631	ND	ND	22,177	9,992
Cu	25,482	3,819	15,102	3,769	33,493	3,981	27,770	4,040	33,077	4,025	21,509	4,002	22,614	3,750	20,668	3,997
Fe	24,593	6,122	28,990	6,313	25,320	6,167	29,741	6,514	19,084	6,484	13,254	6,428	ND	ND	17,592	6,685
K	100,379	71,881	ND	ND	86,656	83,575	192,918	83,965	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Mn	9,505	6,722	ND	ND	23,946	7,949	ND	ND	14,137	8,031	ND	ND	13,429	7,782	23,080	8,144
Nb	6,178	1,854	6,534	1,839	8,308	1,919	ND	ND	ND	ND	ND	ND	2,960	1,811	2,724	1,796
Ni	16,777	4,169	10,535	4,111	ND	ND	17,794	4,320	13,000	4,929	7,297	4,334	11,987	4,036	10,741	4,464
Rb	11,569	2,333	ND	ND	4,069	2,369	4,837	2,403	7,598	2,467	ND	ND	7,489	2,278	6,264	2,420
Se	5,621	2,708	4,742	2,637	5,394	2,758	11,292	2,855	5,058	2,810	8,235	2,785	11,194	2,669	8,386	2,795
Sn	8,637	5,464	ND	ND	15,029	5,555	16,778	5,621	11,240	5,649	ND	ND	16,039	5,349	ND	ND
Sr	5,694	2,122	5,029	2,089	4,284	2,189	ND	ND	ND	ND	ND	ND	11,440	2,140	ND	ND
Ti	ND	ND	ND	ND	17,753	15,425	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
V	ND	ND	ND	ND	ND	ND	13,091	12,319	ND	ND	ND	ND	23,160	9,837	14,962	11,759
Y	4,254	2,111	6,906	2,112	8,919	2,168	9,073	2,250	ND	ND	4,321	2,241	ND	ND	7,367	2,217
Zr	8,026	1,979	7,629	1,951	ND	ND	5,054	2,097	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Zn	10,234	3,505	5,254	3,451	16,944	3,516	17,444	3,593	ND	ND	19,821	3,616	18,131	3,441	12,235	3,612
pH	10,90		11,37		11,14		10,99		11,59		11,57		11,50		11,04	
ms/cm	1580		1339		1200		1792		1788		1503		2480		1230	

ND significa não detectado.

SBC 0,6 mm (3 DIAS)																
Metal	6 horas		1 dia		2d+6h		4 dias		9 dias		16 dias		36 dias		64 dias	
	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP
As	ND	ND	10,030	2,927	13,430	2,917	ND	ND	ND	ND	10,791	2,771	ND	ND	ND	ND
Ca	244,615	13,585	223,304	13,364	251,960	13,087	201,736	12,584	608,561	16,456	89,257	28,995	41,620	33,278	793,405	17,329
Cd	22,154	4,810	ND	ND	7,137	5,320	12,972	4,209	21,545	5,208	15,661	4,276	23,853	4,825	6,588	5,050
Cl	5252,862	435,089	5972,542	461,147	4187,037	404,258	ND	ND	7189,935	447,382	4202,959	431,052	4297,007	424,333	2796,220	429,305
Cr	14,933	9,649	25,556	8,987	23,527	8,414	ND	ND	26,503	9,657	ND	ND	24,966	9,511	ND	ND
Cu	24,918	3,858	33,905	4,140	14,804	3,960	29,364	3,714	13,759	3,977	22,761	3,812	22,578	3,505	15,687	3,847
Fe	17,948	6,166	18,926	6,551	30,525	6,522	17,176	6,062	20,248	6,473	23,124	6,191	17,397	6,181	ND	ND
K	91,608	74,507	ND	ND	138,897	84,631	ND	ND	ND	ND	94,110	81,872	ND	ND	ND	ND
Mn	ND	ND	ND	ND	ND	ND	25,434	7,473	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Nb	4,489	1,736	4,461	1,963	4,641	1,942	ND	ND	ND	ND	3,663	1,852	ND	ND	ND	ND
Ni	ND	ND	10,508	4,885	12,399	4,802	ND	ND	ND	ND	9,334	4,635	12,597	4,616	5,969	4,520
Rb	8,041	2,362	3,054	2,441	ND	ND	ND	ND	4,778	2,428	8,634	2,325	4,127	2,305	ND	ND
Se	7,974	2,771	4,191	2,857	ND	ND	ND	ND	13,925	2,832	10,239	2,704	3,070	2,690	ND	ND
Sn	ND	ND	29,879	5,813	14,762	5,784	12,573	5,386	ND	ND	ND	ND	14,865	5,503	ND	ND
Sr	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Ti	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	31,475	15,894	ND	ND	ND	ND	ND	ND
V	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	27,195	10,225	ND	ND
Y	ND	ND	8,969	2,284	8,280	2,242	3,047	2,016	4,078	2,181	ND	ND	10,070	2,138	7,442	2,120
Zr	ND	ND	5,548	2,117	4,861	2,074	ND	ND	ND	ND	ND	ND	7,619	1,824	4,687	1,993
Zn	10,793	3,448	12,038	3,656	7,892	3,612	6,447	3,263	19,648	3,639	12,749	3,407	13,768	3,506	6,630	3,461
pH	11,43		11,48		11,12		11,05		11,12		11,03		10,91		11,21	
ms/cm	2250		2070		2080		1645		1681		1154		531		1735	

ND significa não detectado.

SBC 0,6 mm (7 DIAS)																
Metal	6 horas		1 dia		2d+6h		4 dias		9 dias		16 dias		36 dias		64 dias	
	ppm	DP	ppm	DP	ppm	DP	ppm	DP	ppm	DP	ppm	DP	ppm	DP	ppm	DP
As	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	3,680	2,903	13,733	2,914
Ca	1101,090	19,201	419,254	14,647	182,042	13,354	48,919	37,831	76,823	31,597	306,003	13,894	ND	ND	56,085	30,408
Cd	ND	ND	18,964	4,422	10,597	3,461	17,769	4,872	6,628	5,136	ND	ND	ND	ND	14,994	5,304
Cl	2772,286	441,204	5257,113	433,146	9072,091	319,213	6688,232	458,795	5739,906	441,547	5661,756	436,033	8884,226	451,767	5445,933	457,171
Cr	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	22,305	9,377	13,113	8,267	ND	ND	ND	ND
Cu	28,100	3,919	25,714	3,890	24,541	2,853	27,845	4,044	30,761	3,963	31,622	3,974	19,204	4,016	30,005	3,981
Fe	17,043	6,115	34,691	6,368	9,849	4,670	ND	ND	19,816	6,292	31,160	6,214	22,905	6,631	26,653	6,729
K	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Mn	ND	ND	27,395	7,747	ND	ND	23,418	7,818	ND	ND	10,006	7,876	11,857	7,928	ND	ND
Nb	5,522	1,830	ND	ND	2,798	1,380	3,049	1,977	3,875	1,861	6,117	1,876	6,322	1,857	ND	ND
Ni	5,773	4,106	ND	ND	5,886	3,456	14,239	4,927	ND	ND	ND	ND	ND	ND	7,058	4,703
Rb	3,278	2,315	ND	ND	2,268	1,715	11,797	2,511	9,446	2,368	5,278	2,381	10,518	2,440	ND	ND
Se	4,005	2,663	4,038	2,696	4,106	2,037	6,375	2,836	ND	ND	10,285	2,799	12,313	2,871	12,457	2,827
Sn	6,083	5,437	ND	ND	9,124	3,947	20,144	5,798	ND	ND	ND	ND	26,025	5,633	15,741	5,397
Sr	ND	ND	ND	ND	4,638	1,602	6,958	2,315	6,024	2,174	6,516	2,194	ND	ND	ND	ND
Ti	35,273	15,321	19,002	15,695	ND	ND	19,241	14,657	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
V	12,217	11,775	ND	ND	10,706	8,850	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Y	ND	ND	7,688	2,172	5,274	1,580	ND	ND	6,586	2,170	8,637	2,152	5,229	2,229	8,724	2,233
Zr	5,720	1,978	4,220	2,025	4,644	1,475	ND	ND	10,065	2,007	8,316	2,032	3,526	2,084	5,612	2,085
Zn	15,426	3,470	16,056	3,495	7,941	2,586	11,428	3,726	8,934	3,562	13,870	3,472	7,261	3,614	ND	ND
pH	11,21		11,56		11,43		11,00		11,13		11,08		10,91		11,31	
ms/cm	2170		1956		1624		1469		1839		1014		531		1269	

ND significa não detectado.

SBC 0,6 mm (28 DIAS)																
Metal	6 horas		1 dia		2d + 6h		4 dias		9 dias		16 dias		36 dias		64 dias	
	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP
As	4,007	2,727	5,284	2,802	7,629	2,734	3,397	2,491	ND	ND	ND	ND	3,709	2,946	9,216	2,785
Ca	ND	ND	918,518	17,806	109,868	33,815	47,295	33,466	697,976	16,698	491,162	15,616	425,717	14,911	248,084	13,374
Cd	7,323	5,098	13,446	5,026	11,207	4,902	16,879	5,125	9,721	5,158	6,513	4,401	15,589	5,309	13,608	4,855
Cl	4200,044	426,728	2559,550	432,241	4143,701	415,966	5469,978	434,865	5175,508	415,182	8120,305	439,140	5695,904	463,795	4704,714	439,300
Cr	10,587	9,449	ND	ND	18,614	8,906	22,622	8,300	ND	ND	ND	ND	11,462	10,328	21,941	8,470
Cu	24,046	3,828	22,091	3,834	29,195	3,877	24,797	3,915	32,661	4,008	21,786	4,085	27,544	4,167	17,736	3,825
Fe	25,974	6,241	13,198	6,174	27,664	6,260	19,761	6,334	21,548	6,427	27,726	6,465	33,680	6,638	25,672	6,347
K	ND	ND	130,946	67,407	95,913	75,267	116,229	77,700	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Mn	ND	ND	ND	ND	ND	ND	20,510	7,652	ND	ND	17,564	7,861	15,005	7,165	15,226	6,753
Nb	4,904	1,841	6,736	1,696	3,132	1,860	3,826	1,873	3,486	1,882	2,985	1,897	ND	ND	5,069	1,893
Ni	6,395	4,579	10,517	4,538	ND	ND	ND	ND	ND	ND	5,813	4,823	ND	ND	ND	ND
Rb	ND	ND	8,156	2,335	ND	ND	ND	ND	8,822	2,366	ND	ND	7,019	2,505	4,195	2,341
Se	ND	ND	7,651	2,669	ND	ND	12,386	2,529	ND	ND	5,188	2,767	12,765	2,899	11,975	2,760
Sn	10,629	5,456	18,526	5,488	18,069	5,391	8,984	5,456	27,230	5,635	8,325	5,589	20,560	5,841	ND	ND
Sr	8,844	2,131	6,790	2,126	6,334	2,143	ND	ND	8,025	2,188	8,337	2,229	11,610	2,325	7,548	2,187
Ti	ND	ND	18,114	14,159	ND	ND	ND	ND	ND	ND	31,401	15,817	ND	ND	ND	ND
V	ND	ND	11,925	10,759	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	14,059	10,765
Y	6,536	2,108	6,154	2,114	6,327	2,117	8,333	2,148	9,799	2,137	ND	ND	5,259	2,263	6,061	2,144
Zr	9,782	2,013	4,098	1,973	ND	ND	4,144	2,013	ND	ND	ND	ND	3,915	2,138	6,280	1,869
Zn	23,344	3,395	9,557	3,441	13,255	3,456	13,676	3,527	20,634	3,459	4,955	3,359	22,496	3,731	15,564	3,545
pH	10,90		11,42		11,33		11,02		11,62		11,59		11,56		11,19	
ms/cm	1589		1622		1462		2040		1840		1619		3070		1961	

ND significa não detectado.

URM 0,6 mm (3 DIAS)																
Metal	6 horas		1 dia		2d+6h		4 dias		9 dias		16 dias		36 dias		64 dias	
	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP
As	6,969	2,668	3,325	2,657	5,411	2,637	8,428	2,607	ND	ND	9,323	2,784	ND	ND	ND	ND
Ca	107,099	31,905	227,149	12,694	202,066	12,827	661,644	43,421	467,598	16,217	89,082	32,554	40,870	32,498	294,261	14,240
Cd	13,147	4,983	10,005	4,150	ND	ND	ND	ND	ND	ND	8,419	5,121	8,576	4,769	19,697	4,903
Cl	ND	ND	ND	ND	ND	ND	2104,072	413,827	9254,064	474,397	4218,831	416,258	3045,257	428,437	6442,694	447,443
Cr	ND	ND	ND	ND	26,229	8,178	20,439	7,701	12,036	10,614	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Cu	25,293	3,618	27,989	3,736	28,131	3,742	12,846	3,632	25,530	4,238	31,269	3,878	17,098	3,749	27,233	3,947
Fe	18,022	5,581	8,160	5,930	ND	ND	29,066	5,984	32,634	6,958	26,505	6,121	18,254	6,323	10,499	6,396
K	ND	ND	ND	ND	129,520	79,451	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Mn	11,897	7,245	11,296	7,077	11,697	7,515	ND	ND	14,410	8,684	ND	ND	ND	ND	20,149	7,065
Nb	7,748	1,792	3,102	1,639	ND	ND	5,014	1,749	ND	ND	4,833	1,843	2,358	1,816	ND	ND
Ni	8,138	3,948	ND	ND	13,266	3,970	5,864	4,428	ND	ND	11,453	4,518	14,771	4,587	7,249	4,234
Rb	5,747	2,250	ND	ND	ND	ND	5,594	2,177	ND	ND	6,935	2,334	4,563	2,191	8,654	2,402
Se	7,627	2,570	ND	ND	8,527	2,613	5,431	2,532	8,223	2,971	3,414	2,653	7,818	2,700	10,261	2,823
Sn	14,907	5,341	11,365	5,303	10,676	5,407	21,110	5,129	ND	ND	14,527	5,417	ND	ND	25,502	5,584
Sr	5,834	2,066	3,257	2,045	7,760	2,078	ND	ND	7,697	2,336	ND	ND	5,380	2,141	10,300	2,224
Ti	ND	ND	ND	ND	ND	ND	16,982	14,007	ND	ND	ND	ND	31,050	15,887	ND	ND
V	ND	ND	20,249	11,377	ND	ND	19,095	11,001	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Y	4,020	2,025	7,432	2,035	9,879	2,069	8,335	2,002	8,776	2,309	ND	ND	8,300	2,089	3,272	2,158
Zr	ND	ND	ND	ND	ND	ND	3,686	1,870	5,666	2,071	4,652	1,969	ND	ND	5,831	2,039
Zn	9,281	3,282	8,406	3,316	11,917	3,309	11,700	3,241	5,653	3,775	18,579	3,462	7,311	3,429	9,965	3,319
pH	11,50		11,53		11,08		11,15		11,10		11,01		10,69		10,92	
ms/cm	2260		1966		1876		1759		1578		1121		340		828	

ND significa não detectado.

URM 0,6 mm (7 DIAS)																
Metal	6 horas		1 dia		2d+6h		4 dias		9 dias		16 dias		36 dias		64 dias	
	ppm	DP	ppm	DP	ppm	DP	ppm	DP	ppm	DP	ppm	DP	ppm	DP	ppm	DP
As	11,525	2,736	7,095	2,688	5,460	2,033	6,640	2,982	6,500	2,739	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Ca	460,164	15,166	364,957	14,661	221,108	13,585	375,612	14,727	79,796	32,686	250,268	13,582	39,665	35,812	185,513	437,613
Cd	ND	ND	9,610	4,837	ND	ND	25,317	5,113	ND	ND	12,827	4,259	18,990	4,603	13,415	4,826
Cl	1328,197	432,065	5792,315	435,574	7500,049	321,278	7439,902	460,950	4940,650	427,628	4496,321	434,703	7599,979	435,284	6791,059	32,313
Cr	22,041	8,431	ND	ND	ND	ND	ND	ND	10,959	8,977	17,231	9,621	10,045	9,497	ND	ND
Cu	13,872	3,901	26,550	3,954	26,974	2,836	24,391	4,144	28,180	3,886	30,622	3,860	24,354	3,926	32,439	3,805
Fe	21,128	6,257	21,603	6,384	19,282	4,548	23,210	6,706	ND	ND	12,840	6,278	ND	ND	13,882	6,441
K	ND	ND	ND	ND	72,090	55,600	ND	ND	ND	ND	118,197	69,300	176,057	72,561	ND	ND
Mn	ND	ND	20,732	6,676	12,496	5,536	21,525	8,045	34,422	7,726	15,274	7,762	14,307	8,021	ND	ND
Nb	2,453	1,831	2,190	1,875	ND	ND	ND	ND	3,764	1,868	ND	ND	ND	ND	4,548	1,765
Ni	5,258	4,741	ND	ND	13,058	3,210	ND	ND	ND	ND	ND	ND	12,515	4,767	8,615	4,680
Rb	3,652	2,288	ND	ND	6,348	1,712	6,078	2,501	7,223	2,342	5,303	2,337	5,053	2,292	5,606	2,399
Se	6,028	2,697	ND	ND	5,049	2,000	12,481	2,927	ND	ND	8,277	2,716	8,089	2,778	9,747	2,769
Sn	ND	ND	6,078	5,514	5,029	3,881	9,099	5,668	19,821	5,490	ND	ND	23,338	5,646	ND	ND
Sr	11,030	2,145	ND	ND	4,051	1,573	8,160	2,331	9,483	2,170	8,619	2,157	ND	ND	8,385	2,206
Ti	ND	ND	ND	ND	ND	ND	28,825	16,518	ND	ND	38,574	14,346	ND	ND	ND	ND
V	ND	ND	ND	ND	ND	ND	14,810	11,929	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Y	ND	ND	6,242	2,134	3,632	1,538	10,521	2,291	5,644	2,166	ND	ND	ND	ND	4,425	2,175
Zr	ND	ND	6,283	2,024	ND	ND	5,457	2,148	6,213	2,018	5,799	1,996	ND	ND	ND	ND
Zn	ND	ND	ND	ND	8,212	2,509	9,210	3,803	18,464	3,563	8,579	3,403	6,385	3,590	16,272	3,654
pH	11,32		11,55		11,46		11,74		11,09		11,06		10,69		11,16	
ms/cm	2070		1699		1807		1423		1779		995		340		663	

ND significa não detectado.

URM 0,6 mm (28 DIAS)																
Metal	6 horas		1 dia		2d + 6h		4 dias		9 dias		16 dias		36 dias		64 dias	
	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP
As	9,911	2,760	6,498	2,760	4,079	2,805	10,961	2,927	9,542	2,768	10,801	3,056	ND	ND	ND	ND
Ca	189,516	12,715	653,135	44,811	290,138	13,785	55,685	34,959	192,269	12,712	660,628	17,189	102,140	28,836	109,950	32,788
Cd	ND	ND	14,540	4,995	7,212	4,750	11,090	5,323	15,192	5,076	12,771	5,113	7,031	4,250	7,208	4,884
Cl	4621,682	399,434	2168,984	422,429	6531,143	439,909	5294,747	444,935	4401,412	419,942	8535,078	465,206	4296,221	435,550	6303,133	442,320
Cr	18,789	9,347	ND	ND	39,345	9,947	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Cu	33,123	3,915	19,923	6,111	33,333	3,960	20,635	6,328	20,400	3,817	19,840	4,196	24,157	3,848	29,375	3,941
Fe	8,652	6,247	16,167	3,755	ND	ND	17,553	4,021	24,676	6,232	9,539	6,593	15,886	6,169	29,710	6,420
K	143,218	75,071	143,600	73,465	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Mn	28,127	7,707	ND	ND	ND	ND	ND	ND	8,322	7,877	ND	ND	16,594	7,796	17,430	7,771
Nb	2,923	1,864	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	3,777	2,024	4,202	1,869	5,001	1,749
Ni	7,811	4,650	12,108	4,130	ND	ND	12,724	4,366	ND	ND	10,130	4,483	ND	ND	5,619	4,154
Rb	ND	ND	ND	ND	8,982	2,374	6,310	2,430	11,946	2,324	9,391	2,508	5,106	2,280	4,403	2,371
Se	5,620	2,730	9,506	2,662	14,108	2,803	10,946	2,819	16,049	2,737	12,963	2,989	ND	ND	11,394	2,787
Sn	ND	ND	11,857	5,382	ND	ND	16,199	5,782	11,557	5,435	15,125	5,829	10,008	5,482	19,957	5,632
Sr	4,679	2,129	5,948	2,122	11,020	2,224	ND	ND	4,616	2,155	8,139	2,326	11,871	2,176	9,510	2,201
Ti	ND	ND	ND	ND	59,228	15,205	ND	ND	ND	ND	ND	ND	28,250	15,680	ND	ND
V	ND	ND	ND	ND	12,691	10,130	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Y	ND	ND	3,936	2,073	6,562	2,171	10,989	2,228	6,111	2,121	ND	ND	3,957	2,123	5,421	2,166
Zr	2,825	1,985	ND	ND	6,953	2,039	4,025	2,078	6,275	1,995	3,763	2,165	5,640	1,997	ND	ND
Zn	7,088	3,459	12,645	3,359	11,970	3,453	13,824	3,587	8,777	3,389	11,301	3,831	ND	ND	17,190	3,559
pH	11,19		11,35		10,97		10,94		11,50		11,57		11,36		10,82	
ms/cm	1442		1337		1230		1445		1419		1495		1526		770	

ND significa não detectado.

REF 1,2 mm (3 DIAS)																
Metal	6 horas		1 dia		2d+6h		4 dias		9 dias		16 dias		36 dias		64 dias	
	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP
As	6,812	2,642	ND	ND	9,592	2,397	8,054	2,386	ND	ND	ND	ND	7,050	2,807	ND	ND
Ca	114,563	31,166	256,809	13,353	246,963	12,936	614,693	41,487	556,719	15,556	113,359	29,963	88,594	33,620	216,937	12,895
Cd	ND	ND	10,961	4,329	7,868	4,742	7,211	4,659	16,017	5,134	8,025	4,189	22,642	5,144	ND	ND
Cl	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	3091,852	429,833	4030,696	427,899	5606,705	433,754	5416,092	421,541
Cr	20,834	8,734	24,233	9,373	10,352	9,284	26,389	8,976	18,233	9,079	23,685	8,204	13,715	9,178	ND	ND
Cu	30,685	3,730	15,968	3,827	32,800	3,730	21,217	3,732	27,322	3,887	36,556	3,873	27,497	3,879	28,912	3,877
Fe	26,924	6,040	9,006	5,951	ND	ND	18,710	6,007	9,874	6,041	29,679	6,218	9,712	5,926	19,888	6,277
K	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Mn	16,758	6,676	ND	ND	20,585	7,301	16,027	7,474	8,680	7,871	10,872	7,606	13,031	6,598	ND	ND
Nb	4,838	1,649	4,794	1,702	ND	ND	ND	ND	6,059	1,869	ND	ND	ND	ND	3,352	1,879
Ni	6,455	3,997	ND	ND	7,997	3,990	11,076	3,989	6,686	4,611	6,543	4,639	ND	ND	14,252	4,620
Rb	8,716	2,251	10,897	2,305	ND	ND	6,903	2,226	5,180	2,315	ND	ND	ND	ND	10,266	2,395
Se	10,920	2,584	ND	ND	6,302	2,587	9,416	2,588	ND	ND	3,027	2,692	ND	ND	ND	ND
Sn	ND	ND	ND	ND	ND	ND	33,312	5,319	22,399	5,584	19,994	5,428	13,530	5,535	15,713	5,507
Sr	4,879	2,059	8,999	2,136	ND	ND	ND	ND	6,202	2,167	5,720	2,137	5,924	2,193	8,527	2,191
Ti	ND	ND	29,447	14,506	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
V	ND	ND	26,000	10,605	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Y	6,920	2,050	8,080	2,111	ND	ND	12,024	2,050	ND	ND	5,569	1,848	3,428	2,128	4,304	2,136
Zr	ND	ND	ND	ND	3,427	1,879	ND	ND	9,318	2,006	6,005	1,889	ND	ND	5,944	2,035
Zn	ND	ND	15,496	3,453	9,057	3,299	12,134	3,311	13,689	3,457	11,442	3,428	11,025	3,462	22,190	3,554
pH	11,53		11,56		11,22		11,20		11,26		11,02		10,94		10,88	
ms/cm	2940		2690		2590		2320		1678		1404		520		755	

ND significa não detectado.

REF 1,2 mm (7 DIAS)																
Metal	6 horas		1 dia		2d+6h		4 dias		9 dias		16 dias		36 dias		64 dias	
	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP
As	ND	ND	3,871	2,778	5,670	2,026	6,453	2,936	ND	ND	4,732	2,783	4,485	2,934	11,211	2,816
Ca	1004,976	19,682	514,112	15,008	513,010	15,348	808,602	17,822	215,511	13,307	263,931	13,388	ND	ND	39,059	32,252
Cd	ND	ND	ND	ND	ND	ND	17,523	4,961	ND	ND	14,502	4,290	17,702	5,132	ND	ND
Cl	2615,990	429,645	4502,731	427,716	626,023	315,900	8282,078	445,134	5719,167	425,251	4552,416	427,321	5634,643	423,410	5379,314	429,233
Cr	27,250	8,112	ND	ND	9,840	6,650	18,467	8,384	24,857	9,633	30,748	9,244	ND	ND	ND	ND
Cu	13,087	3,877	24,527	3,989	29,160	2,834	9,158	4,083	33,962	3,967	19,163	3,851	22,980	4,049	26,173	3,934
Fe	ND	ND	23,710	6,379	11,760	4,624	22,569	6,457	8,897	6,391	26,709	6,460	11,300	6,458	26,623	6,262
K	140,055	71,493	ND	ND	82,481	51,637	ND	ND	ND	ND	190,957	77,470	120,157	71,803	87,085	64,169
Mn	ND	ND	8,136	6,628	ND	ND	24,946	8,164	8,986	7,633	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Nb	6,431	1,837	ND	ND	ND	ND	5,265	1,959	2,768	1,901	ND	ND	4,682	1,915	5,099	1,890
Ni	11,995	4,598	ND	ND	7,998	3,389	15,254	4,946	ND	ND	ND	ND	6,908	4,849	ND	ND
Rb	7,414	2,333	5,143	2,339	ND	ND	ND	ND	7,177	2,344	ND	ND	8,579	2,461	ND	ND
Se	11,320	2,702	ND	ND	8,762	1,991	8,430	2,848	8,846	2,780	4,451	2,692	7,221	2,531	7,611	2,735
Sn	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	13,089	5,419	14,400	5,475	ND	ND	9,622	5,460
Sr	ND	ND	ND	ND	4,089	1,571	5,671	2,245	7,885	2,190	8,383	2,169	5,497	2,275	4,625	2,180
Ti	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
V	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	26,532	12,796	ND	ND
Y	6,039	2,098	4,626	2,130	ND	ND	5,876	2,247	3,813	2,135	4,769	2,137	ND	ND	4,314	2,150
Zr	8,116	1,997	ND	ND	4,077	1,454	ND	ND	ND	ND	3,574	1,996	3,684	2,084	8,212	2,027
Zn	14,251	3,257	ND	ND	7,698	2,541	8,537	3,619	5,222	3,490	13,078	3,493	12,500	3,679	14,547	3,499
pH	11,28		11,51		11,58		11,07		11,17		11,12		10,94		11,18	
ms/cm	2870		2170		2430		2020		2150		1420		520		728	

ND significa não detectado.

REF 1,2 mm (28 DIAS)																
Metal	6 horas		1 dia		2d + 6h		4 dias		9 dias		16 dias		36 dias		64 dias	
	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP
As	ND	ND	9,086	2,630	ND	ND	8,104	2,806	ND	ND	4,988	2,970	ND	ND	5,786	2,837
Ca	177,630	12,876	484,683	15,432	231,876	13,048	106,118	34,556	1505,742	21,920	372,825	14,716	55,362	32,723	180,162	12,707
Cd	15,241	5,001	14,617	4,752	ND	ND	20,200	4,880	18,300	4,371	ND	ND	ND	ND	18,762	5,083
Cl	3423,473	429,329	4141,550	435,300	4948,321	423,767	5607,406	429,563	5373,891	426,482	6993,383	470,560	3883,030	425,920	4495,353	456,597
Cr	ND	ND	ND	ND	15,319	9,215	ND	ND	15,038	9,847	ND	ND	ND	ND	24,421	10,266
Cu	33,452	3,869	27,666	3,883	25,958	3,894	24,337	3,926	21,242	3,968	30,440	4,135	37,203	3,916	31,500	4,085
Fe	9,153	6,031	24,751	5,874	31,169	6,360	21,255	6,365	ND	ND	13,637	6,491	ND	ND	16,177	6,367
K	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Mn	ND	ND	17,429	7,745	15,303	7,712	10,687	7,494	10,158	7,836	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Nb	ND	ND	3,060	1,872	3,500	1,862	5,591	1,821	2,582	1,916	ND	ND	13,113	3,495	ND	ND
Ni	ND	ND	ND	ND	5,968	4,088	16,476	4,313	8,148	4,714	6,902	4,411	10,752	4,350	8,270	4,201
Rb	ND	ND	ND	ND	3,365	2,351	6,828	2,349	ND	ND	7,081	2,488	9,684	2,326	ND	ND
Se	7,110	2,673	ND	ND	ND	ND	8,592	2,758	13,201	2,816	11,405	2,923	6,489	2,681	14,435	2,849
Sn	22,942	5,508	ND	ND	ND	ND	9,387	5,529	17,284	5,578	8,343	5,767	11,644	5,492	21,295	5,718
Sr	ND	ND	3,758	2,149	4,905	2,167	7,578	2,199	7,088	2,218	ND	ND	5,760	2,145	ND	ND
Ti	ND	ND	ND	ND	ND	ND	18,682	14,618	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
V	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	30,458	13,013	ND	ND	ND	ND
Y	4,258	2,099	3,117	2,104	ND	ND	5,643	2,152	2,356	1,915	4,185	2,266	5,553	2,115	3,193	2,209
Zr	9,868	1,992	6,061	1,996	3,937	1,846	5,570	2,001	ND	ND	ND	ND	6,577	1,985	4,730	2,101
Zn	8,482	3,348	12,217	3,405	13,756	3,393	ND	ND	7,716	3,560	7,669	3,686	7,479	1,881	18,413	3,587
pH	11,06		11,44		11,22		10,98		11,54		11,63		11,32		11,08	
ms/cm	1341		1419		1319		1466		1648		1570		2290		1449	

ND significa não detectado.

SBC 1,2 mm (3 DIAS)																
Metal	6 horas		1 dia		2d+6h		4 dias		9 dias		16 dias		36 dias		64 dias	
	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP
As	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	4,211	2,883	7,519	2,842	8,222	2,780	5,454	2,879
Ca	209,345	12,628	287,004	13,590	232,081	13,143	795,092	16,944	492,329	15,790	60,013	35,734	40,883	34,708	460,944	14,879
Cd	13,276	4,938	ND	ND	11,004	4,369	ND	ND	15,607	4,630	11,440	4,932	ND	ND	12,505	5,473
Cl	ND	ND	5561,464	434,113	1948,495	435,202	2699,418	419,669	7594,585	444,597	3380,363	401,099	5827,663	457,028	6282,226	451,498
Cr	ND	ND	11,914	9,692	21,520	10,083	ND	ND	19,507	9,335	ND	ND	ND	ND	14,646	9,489
Cu	18,960	3,664	18,760	3,892	ND	ND	12,562	3,688	27,814	4,037	30,164	4,049	27,637	4,010	ND	ND
Fe	31,487	6,035	15,026	6,275	19,666	5,894	13,599	5,864	19,634	6,552	11,086	6,458	16,448	6,501	31,610	6,601
K	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	110,822	68,305	ND	ND	114,859	77,832	ND	ND
Mn	14,514	7,341	ND	ND	ND	ND	ND	ND	14,021	7,765	ND	ND	16,871	8,201	11,503	8,148
Nb	5,599	1,782	2,118	1,866	ND	ND	5,658	1,754	ND	ND	ND	ND	2,882	1,947	5,483	1,966
Ni	7,157	4,151	ND	ND	ND	ND	6,867	4,453	ND	ND	ND	ND	ND	ND	21,633	5,067
Rb	ND	ND	ND	ND	6,734	2,365	9,612	2,197	ND	ND	5,918	2,381	ND	ND	ND	ND
Se	8,998	2,590	13,085	2,755	6,284	2,735	7,100	2,534	6,804	2,830	6,355	2,809	8,024	2,869	13,290	2,863
Sn	ND	ND	6,786	5,540	ND	ND	ND	ND	17,409	5,612	ND	ND	10,966	5,643	ND	ND
Sr	1,943	2,048	3,408	2,181	ND	ND	5,321	2,022	4,177	2,243	3,676	2,203	7,854	2,260	12,141	2,320
Ti	ND	ND	32,581	13,927	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	20,730	16,737
V	12,277	10,609	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	21,386	11,741	ND	ND
Y	4,497	2,018	ND	ND	4,478	2,159	3,587	1,968	ND	ND	ND	ND	7,620	2,233	10,921	2,258
Zr	6,467	1,894	4,980	1,926	4,262	2,022	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	4,528	2,113
Zn	11,456	3,246	12,886	3,502	6,636	3,519	16,414	3,341	10,816	3,591	17,654	3,603	20,550	3,654	ND	ND
pH	11,44		11,50		11,19		11,10		11,24		10,96		11,00		11,15	
ms/cm	2400		2030		2020		1824		1694		1083		684		1394	

ND significa não detectado.

SBC 1,2 mm (7 DIAS)																
Metal	6 horas		1 dia		2d+6h		4 dias		9 dias		16 dias		36 dias		64 dias	
	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP
As	4,912	2,68	ND	ND	3,312	2,011	6,507	2,847	8,616	2,838	7,581	2,781	7,809	2,838	3,931	2,769
Ca	1195,177	20,093	178,708	38,160	438,938	4,899	674,576	16,789	151,232	32,181	133,462	12,570	74,727	34,922	136,540	34,530
Cd	ND	ND	11,952	4,933	ND	ND	17,108	5,233	7,576	4,873	11,347	4,950	ND	ND	ND	ND
Cl	2057,298	380,239	4654,975	385,048	6038,964	6,294	7198,190	434,812	5892,477	440,622	5252,987	431,089	7126,553	444,697	4059,929	384,494
Cr	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	19,696	10,433	ND	ND
Cu	17,068	3,734	20,237	3,788	20,333	2,759	11,230	3,999	22,809	3,680	28,554	3,916	33,274	4,003	28,148	3,847
Fe	14,746	6,121	23,696	6,304	19,392	4,493	14,412	6,414	16,940	6,301	31,406	6,462	42,600	6,629	27,897	6,345
K	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	190,676	84,598	252,791	64,921	106,174	81,971	ND	ND
Mn	15,06	7,544	12,289	7,840	ND	ND	10,984	8,089	10,712	7,552	ND	ND	ND	ND	12,499	7,147
Nb	3,335	1,797	ND	ND	5,079	1,339	ND	ND	ND	ND	3,803	1,751	ND	ND	ND	ND
Ni	ND	ND	11,940	4,665	ND	ND	5,719	4,806	13,877	4,203	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Rb	ND	ND	5,460	2,109	2,864	1,679	6,650	2,398	6,170	2,377	7,398	2,238	ND	ND	ND	ND
Se	6,664	2,66	ND	ND	ND	ND	ND	ND	9,424	2,743	ND	ND	6,707	2,813	7,370	2,712
Sn	ND	ND	6,219	5,417	15,015	3,901	ND	ND	ND	ND	14,461	5,413	26,033	5,568	ND	ND
Sr	ND	ND	7,591	2,164	6,054	1,561	7,879	2,244	7,484	2,200	3,070	2,164	7,524	2,252	7,647	2,183
Ti	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	33,409	15,266
V	ND	ND	ND	ND	ND	ND	16,140	12,768	ND	ND	ND	ND	ND	ND	17,252	9,955
Y	6,12	2,034	7,596	2,129	5,455	1,523	5,432	2,206	6,362	2,136	3,604	2,153	ND	ND	4,202	2,136
Zr	ND	ND	ND	ND	ND	ND	6,681	2,075	3,368	2,027	5,772	2,007	4,501	2,054	3,874	1,998
Zn	9,09	3,369	ND	ND	9,132	2,488	ND	ND	12,041	3,489	13,999	3,476	14,173	3,451	18,757	3,492
pH	11,26		11,44		11,61		10,99		11,18		10,94		11,00		11,64	
ms/cm	2470		2130		2150		1641		2090		1207		684		1450	

ND significa não detectado.

SBC 1,2 mm (28 DIAS)																
Metal	6 horas		1 dia		2d + 6h		4 dias		9 dias		16 dias		36 dias		64 dias	
	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP
As	6,281	2,768	ND	ND	3,731	2,784	ND	ND	8,766	2,802	10,118	3,015	11,787	2,837	ND	ND
Ca	322,553	13,704	685,446	16,452	306,378	13,803	229,906	13,322	238,652	36,198	557,827	15,969	264,897	13,605	266,332	13,768
Cd	ND	ND	ND	ND	15,362	5,072	18,872	4,799	13,135	5,207	21,342	4,570	ND	ND	13,363	4,349
Cl	4555,295	398,432	3946,260	383,857	4747,236	432,254	4898,744	426,623	5257,287	426,776	8065,050	457,971	4639,966	449,903	4939,099	437,679
Cr	ND	ND	9,079	8,306	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	26,979	9,577	ND	ND
Cu	25,437	3,687	14,511	3,881	29,152	3,882	26,454	3,956	27,780	3,927	19,532	4,158	22,190	3,943	17,885	3,876
Fe	11,173	6,057	22,056	6,111	13,192	6,088	11,976	6,349	16,683	6,353	29,599	6,715	28,560	6,355	10,943	6,083
K	ND	ND	ND	ND	ND	ND	84,447	72,075		ND	ND	ND	165,197	78,149	ND	ND
Mn	ND	ND	ND	ND	19,215	7,988	20,156	7,902	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Nb	ND	ND	4,612	1,876	ND	ND	7,479	1,887	3,940	1,871	4,232	1,979	ND	ND	ND	ND
Ni	ND	ND	5,661	4,113	5,860	4,590	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	8,284	4,713
Rb	6,764	2,314	7,548	2,317	ND	ND	ND	ND	8,617	2,348	5,519	2,508	9,033	2,354	9,138	2,363
Se	7,745	2,753	ND	ND	8,080	2,695	9,207	2,765	ND	ND	9,627	2,940	3,803	2,740	ND	ND
Sn	13,788	5,455	17,030	5,455	24,639	5,529	ND	ND	22,847	5,177	ND	ND	20,896	5,556	ND	ND
Sr	3,556	2,154	ND	ND	ND	ND	ND	ND	11,138	2,184	3,073	2,368	7,588	2,192	6,319	2,192
Ti	27,667	14,421	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	26,223	15,257	27,130	15,622
V	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Y	ND	ND	4,423	2,113	3,909	2,124	4,158	2,144	4,355	2,123	3,133	2,294	5,516	2,148	7,252	2,132
Zr	3,641	1,975	4,937	1,978	3,566	1,994	4,814	1,864	ND	ND	ND	ND	ND	ND	4,297	2,024
Zn	10,736	3,421	10,235	3,443	8,819	3,485	12,184	3,452	11,411	3,428	11,114	3,674	10,503	3,573	10,326	3,465
pH	11,16		11,54		11,42		11,10		11,63		11,76		11,43		11,20	
ms/cm	213		2010		1941		2230		2240		2220		2930		2000	

ND significa não detectado.

URM 1,2 mm (3 DIAS)																
Metal	6 horas		1 dia		2d+6h		4 dias		9 dias		16 dias		36 dias		64 dias	
	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP
As	4,421	2,846	ND	ND	7,835	2,492	6,656	2,634	ND	ND	7,067	2,514	ND	ND	ND	ND
Ca	243,287	13,469	98,372	30,562	292,854	13,400	415,433	14,372	409,265	14,840	66,192	33,652	512,777	15,309	325,300	14,152
Cd	12,236	5,216	9,794	3,917	ND	ND	ND	ND	6,039	4,869	12,372	4,273	13,814	4,621	18,533	5,060
Cl	5137,382	426,307	4720,331	395,459	3574,978	429,415	1461,328	418,812	8470,191	456,282	6152,542	436,114	5120,355	426,246	6848,804	458,397
Cr	12,403	9,049	ND	ND	13,669	9,491	ND	ND	16,985	9,390	ND	ND	13,543	9,644	20,573	9,464
Cu	32,786	3,965	22,218	3,568	28,587	3,505	26,951	3,541	31,177	4,092	26,699	3,937	21,554	3,946	27,870	3,958
Fe	25,375	5,887	23,051	5,841	ND	ND	18,892	5,632	15,578	6,435	10,343	6,307	ND	ND	22,186	6,497
K	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	72,901	67,271
Mn	23,670	6,773	11,706	6,565	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Nb	2,449	1,866	ND	ND	5,788	1,876	5,144	1,783	5,056	1,966	6,489	1,892	3,153	1,875	3,933	1,936
Ni	ND	ND	9,824	4,225	5,592	4,580	9,437	4,584	ND	ND	7,140	4,462	ND	ND	6,467	4,737
Rb	4,411	2,349	4,942	2,101	ND	ND	6,427	2,203	3,119	2,422	6,397	2,327	3,274	2,380	ND	ND
Se	10,891	2,750	8,598	2,462	ND	ND	10,013	2,584	9,964	2,856	11,140	2,719	5,739	2,774	10,193	2,785
Sn	36,735	5,654	ND	ND	12,232	5,566	16,405	5,243	16,210	5,556	13,567	4,958	22,246	5,529	17,529	5,628
Sr	7,197	2,180	4,528	1,955	ND	ND	2,082	2,013	9,969	2,257	10,643	2,194	5,730	2,186	ND	ND
Ti	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
V	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	27,005	10,954	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Y	3,294	2,138	7,091	1,926	4,095	2,087	ND	ND	8,481	2,236	4,417	2,146	ND	ND	ND	ND
Zr	ND	ND	6,449	1,797	5,411	1,982	3,726	1,874	6,057	2,097	5,398	1,998	ND	ND	3,328	2,039
Zn	7,251	3,453	ND	ND	14,297	3,432	9,631	3,341	8,443	3,532	13,369	3,523	7,341	3,553	18,676	3,591
pH	11,61		11,56		11,13		11,23		11,26		11,13		11,23		11,03	
ms/cm	2670		2350		2330		2210		1992		1546		951		1049	

ND significa não detectado.

URM 1,2 mm (7 DIAS)																
Metal	6 horas		1 dia		2d+6h		4 dias		9 dias		16 dias		36 dias		64 dias	
	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP
As	7,548	2,862	ND	ND	3,583	2,026	5,395	2,814	ND	ND	ND	ND	6,066	2,939	ND	ND
Ca	509,732	42,858	458,538	14,912	417,900	14,958	676,479	16,632	240,779	13,339	211,363	12,401	285,892	14,026	48,316	32,439
Cd	ND	ND	ND	ND	ND	ND	20,427	5,247	6,606	5,162	9,991	4,870	12,455	5,126	7,036	5,227
Cl	4066,506	437,322	3614,078	449,832	7501,663	308,667	6983,681	453,459	6190,611	435,345	4365,890	453,802	8112,310	445,458	4656,589	457,558
Cr	ND	ND	22,539	10,010	13,226	7,004	15,559	9,965	20,705	9,698	15,820	9,734	ND	ND	ND	ND
Cu	26,188	4,009	16,785	3,976	18,160	2,819	13,362	3,507	31,086	3,950	20,745	3,890	28,061	4,035	24,247	4,070
Fe	31,299	6,588	10,327	6,341	19,215	4,614	15,268	6,280	ND	ND	20,307	6,567	22,448	6,725	25,644	6,576
K	102,919	69,798	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	129,215	69,228	ND	ND
Mn	ND	ND	ND	ND	13,939	5,587	ND	ND	12,432	7,810	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Nb	3,585	1,938	4,067	1,931	4,345	1,240	5,167	1,945	3,615	1,753	2,660	1,927	5,733	1,952	2,426	1,768
Ni	ND	ND	9,382	4,283	4,838	3,058	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	14,142	4,394
Rb	3,923	2,412	ND	ND	ND	ND	ND	ND	10,055	2,394	ND	ND	ND	ND	6,217	2,411
Se	7,353	2,786	7,814	2,777	6,141	1,980	8,035	2,792	11,919	2,797	7,543	2,510	ND	ND	ND	ND
Sn	15,496	5,710	18,924	5,705	16,255	3,938	ND	ND	11,576	5,486	13,545	5,635	12,888	5,639	ND	ND
Sr	6,427	2,244	8,398	2,224	ND	ND	9,654	2,238	3,663	2,206	5,818	2,222	ND	ND	ND	ND
Ti	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	19,815	15,448	ND	ND	ND	ND	ND	ND
V	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	15,757	11,721	24,318	12,166	ND	ND	ND	ND
Y	9,400	1,975	6,801	2,229	4,852	1,533	4,340	2,206	5,760	2,158	5,425	2,176	ND	ND	5,794	2,206
Zr	4,071	2,069	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	4,946	2,057	5,873	2,093	ND	ND
Zn	14,438	3,638	11,927	3,568	7,576	2,550	14,762	3,514	17,551	3,603	10,025	3,503	14,037	3,584	ND	ND
pH	11,43		11,48		11,64		11,28		11,22		11,08		11,23		11,62	
ms/cm	2900		2290		2400		1944		2330		1659		951		1543	

ND significa não detectado.

URM 1,2 mm (28 DIAS)																
Metal	6 horas		1 dia		2d + 6h		4 dias		9 dias		16 dias		36 dias		64 dias	
	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP
As	ND	ND	5,033	2,884	7,364	2,881	10,385	2,767	6,326	2,510	11,641	2,737	ND	ND	4,297	2,877
Ca	224,827	13,210	717,431	17,004	316,200	14,081	117,136	34,033	1007,616	19,491	51,506	35,368	45,673	29,123	57,337	35,872
Cd	ND	ND	8,773	4,943	6,486	4,896	ND	ND	23,960	5,081	16,312	5,410	25,194	5,166	11,605	5,003
Cl	4813,181	420,668	6644,968	428,022	6194,647	437,523	4619,305	425,542	2786,359	423,383	8934,752	465,701	4832,918	431,438	5518,367	447,827
Cr	ND	ND	11,598	8,182	15,039	9,377	28,445	8,346	20,428	9,175	12,783	10,335	19,601	9,828	18,164	10,208
Cu	31,386	3,935	19,161	4,024	26,720	3,937	16,916	3,813	22,318	3,946	27,279	4,135	24,508	3,907	21,752	4,068
Fe	23,936	6,060	13,600	6,362	12,126	6,647	14,960	5,778	16,430	6,003	29,041	6,836	30,446	6,369	24,623	6,588
K	ND	ND	122,770	65,223	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	110,548	75,100
Mn	17,162	7,559	ND	ND	ND	ND	ND	ND	16,561	7,144	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Nb	2,680	1,844	ND	ND	2,553	1,894	5,552	1,834	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Ni	ND	ND	9,048	4,711	10,845	4,737	ND	ND	ND	ND	ND	ND	8,152	4,627	10,710	4,911
Rb	5,354	2,321	7,382	2,404	6,263	2,359	9,949	2,291	ND	ND	4,572	2,527	4,291	2,345	9,019	2,467
Se	11,722	2,733	ND	ND	4,530	2,767	ND	ND	6,229	2,720	4,905	2,920	9,122	2,736	7,645	2,838
Sn	8,581	5,516	24,566	5,646	10,921	5,540	12,707	5,384	13,015	5,414	15,370	5,842	ND	ND	24,008	5,745
Sr	ND	ND	9,611	2,233	ND	ND	5,386	2,113	9,137	2,176	ND	ND	4,174	2,188	4,740	2,264
Ti	ND	ND	36,756	15,725	16,488	15,080	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
V	ND	ND	ND	ND	13,622	12,155	ND	ND	13,302	11,264	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Y	3,361	2,150	8,715	2,211	3,038	2,151	ND	ND	3,458	2,095	3,738	2,284	9,071	2,150	10,486	2,278
Zr	ND	ND	ND	ND	9,153	2,039	ND	ND	ND	ND	4,060	1,951	ND	ND	ND	ND
Zn	10,773	3,401	6,452	3,506	13,397	3,489	ND	ND	ND	ND	ND	ND	10,884	3,499	ND	ND
pH	11,20		11,47		11,07		10,98		11,53		10,80		11,26		10,93	
ms/cm	1417		1410		1282		1474		1571		1306		1581		1055	

ND significa não detectado.

REF 2,4 mm (3 DIAS)																
Metal	6 horas		1 dia		2d + 6h		4 dias		9 dias		16 dias		36 dias		64 dias	
	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP
As	ND	ND	13,572	2,816	4,780	2,618	6,624	2,888	5,136	2,751	3,723	2,846	5,669	2,833	ND	ND
Ca	293,880	13,952	291,997	13,753	249,786	13,271	256,127	13,349	1007,045	18,491	132,761	33,447	241,671	13,568	104,175	34,764
Cd	8,116	5,361	15,411	5,183	ND	ND	19,914	5,282	10,164	5,150	16,472	5,137	6,518	5,384	8,407	5,201
Cl	6446,176	454,491	5583,188	437,896	4451,779	448,518	3725,116	442,637	2298,826	430,277	5207,323	432,097	4475,003	423,420	4927,949	397,779
Cr	25,080	8,839	21,365	9,470	32,398	10,092	ND	ND	ND	ND	18,381	9,671	22,380	10,328	27,838	9,043
Cu	26,634	4,051	24,190	3,860	14,866	3,913	31,899	4,047	19,674	3,755	26,706	3,650	26,881	3,962	22,814	3,912
Fe	17,564	6,840	9,454	6,328	ND	ND	28,091	6,502	15,743	6,085	15,644	6,615	10,825	6,542	35,548	6,513
K	112,176	82,268	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	193,816	83,414	ND	ND
Mn	14,283	7,035	8,576	7,766	ND	ND	13,428	7,910	15,620	6,905	ND	ND	ND	ND	29,237	8,091
Nb	ND	ND	ND	ND	4,330	1,958	3,423	1,944	ND	ND	ND	ND	ND	ND	2,493	1,897
Ni	5,095	4,944	8,767	4,746	ND	ND	ND	ND	11,806	4,554	ND	ND	11,428	4,824	7,335	4,707
Rb	6,697	2,492	11,432	2,406	8,557	2,440	6,994	2,410	ND	ND	7,662	2,444	5,486	2,404	ND	ND
Se	5,886	2,863	8,367	2,760	9,616	2,842	ND	ND	10,412	2,658	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Sn	7,311	5,862	30,250	5,590	23,611	5,774	ND	ND	8,053	5,439	7,300	5,719	ND	ND	15,580	5,538
Sr	10,013	2,323	10,457	2,207	7,038	2,259	5,467	2,237	5,084	1,941	5,346	2,281	5,731	2,254	4,733	2,170
Ti	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	27,804	16,381	ND	ND	39,582	15,376
V	28,736	11,469	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	20,825	12,319	22,120	11,080
Y	9,700	2,271	8,690	2,170	3,471	2,237	8,926	2,216	ND	ND	9,424	2,234	6,675	2,201	ND	ND
Zr	ND	ND	7,151	2,039	5,968	2,096	ND	ND	ND	ND	4,531	2,092	5,968	2,077	ND	ND
Zn	14,457	3,697	ND	ND	16,773	3,658	16,769	3,599	13,947	3,437	13,204	3,582	10,254	3,645	14,482	3,554
pH	11,69		11,60		11,51		11,52		11,54		11,42		11,25		11,01	
ms/cm	2710		2930		2230		2410		2300		2300		1854		1266	

ND significa não detectado.

REF 2,4 mm (7 DIAS)																
Metal	6 horas		1 dia		2d + 6h		4 dias		9 dias		16 dias		36 dias		64 dias	
	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP
As	ND	ND	ND	ND	4,045	2,837	9,185	2,762	ND	ND	5,307	2,897	6,741	2,798	10,014	2,904
Ca	246,523	13,535	264,113	13,920	331,079	14,009	1058,373	19,860	354,911	14,317	226,465	13,033	57,297	33,954	112,788	31,177
Cd	12,579	5,177	14,710	5,393	ND	ND	21,358	5,198	14,656	4,997	14,432	4,973	10,153	5,176	11,237	5,049
Cl	5219,223	460,840	5472,363	444,006	6066,612	430,061	2836,251	439,315	5544,720	443,120	5896,756	439,231	4387,862	403,544	7220,802	445,199
Cr	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	14,036	8,351	19,042	10,385	ND	ND	ND	ND
Cu	25,615	4,013	32,731	4,116	29,658	4,010	19,418	3,807	25,265	3,827	27,008	4,133	22,760	3,856	16,146	3,986
Fe	22,995	6,707	24,243	6,667	12,266	6,532	26,827	6,180	28,876	6,378	11,945	6,788	29,024	6,381	25,350	6,482
K	ND	ND	103,060	71,013	188,939	72,843	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Mn	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	17,303	7,713	ND	ND	15,689	6,753	ND	ND
Nb	4,420	1,960	5,108	1,985	4,864	1,914	9,297	1,902	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Ni	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	5,673	4,647	8,423	4,941	8,645	4,091	ND	ND
Rb	3,832	2,427	7,162	2,475	9,890	2,408	6,438	2,110	8,893	2,385	6,478	2,476	ND	ND	8,939	2,362
Se	10,254	2,876	9,229	2,890	7,228	2,731	ND	ND	9,918	2,786	13,907	2,854	7,604	2,705	4,396	2,807
Sn	7,103	5,774	23,678	5,747	ND	ND	20,276	5,474	16,963	5,523	9,150	5,640	13,972	5,436	7,203	5,686
Sr	5,825	2,281	3,476	2,175	6,440	2,220	7,489	2,157	3,503	2,227	4,550	2,287	7,002	2,180	14,584	2,228
Ti	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	19,129	15,625	ND	ND	ND	ND	ND	ND
V	20,272	11,011	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Y	ND	ND	7,440	2,254	4,788	2,156	6,337	2,130	ND	ND	5,440	1,971	8,189	2,127	ND	ND
Zr	ND	ND	6,513	2,125	ND	ND	3,122	1,981	5,867	2,046	7,248	2,101	5,990	1,995	7,892	2,065
Zn	19,058	3,594	ND	ND	13,838	3,500	6,626	3,400	11,399	3,295	6,134	3,483	19,802	3,489	10,049	3,486
pH	11,24		11,49		11,74		11,58		11,36		11,24		11,06		10,95	
ms/cm	2340		2560		2220		2620		3050		2450		1694		1454	

ND significa não detectado.

REF 2,4 mm (28 DIAS)																
Metal	6 horas		1 dia		2d+6h		4 dias		9 dias		16 dias		36 dias		64 dias	
	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP
As	6,330	2,897	8,856	2,799	3,196	2,748	ND	ND	ND	ND	5,635	2,621	4,739	2,920	ND	ND
Ca	288,556	13,775	422,715	14,793	298,185	13,419	327,784	14,034	370,926	14,121	268,841	13,281	1679,658	22,107	56,062	29,860
Cd	10,412	5,446	8,568	4,813	18,492	5,179	ND	ND	ND	ND	15,763	5,298	ND	ND	9,104	5,171
Cl	5269,013	439,433	4148,857	87,394	5308,783	430,677	4831,846	423,453	5948,782	45,355	3884,908	438,590	6527,108	372,930	3980,165	22,160
Cr	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	15,493	9,289	ND	ND	14,930	8,679	16,663	8,336
Cu	25,768	4,060	28,089	3,906	21,407	3,857	17,731	4,019	23,769	3,934	20,754	3,934	7,506	4,155	22,787	3,767
Fe	23,425	6,451	21,075	6,301	10,459	6,198	ND	ND	13,638	6,442	14,758	6,505	ND	ND	16,145	6,276
K	ND	ND	83,564	67,658	115,087	65,425	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Mn	25,568	7,922	16,017	7,921	ND	ND	ND	ND	21,016	8,171	16,350	7,526	12,896	8,229	ND	ND
Nb	6,927	1,983	3,577	1,863	5,326	1,886	7,007	1,985	5,114	1,921	2,127	1,904	7,638	2,039	2,984	1,861
Ni	13,463	4,371	5,571	4,665	ND	ND	7,784	4,415	11,646	4,408	ND	ND	5,700	4,662	5,173	4,475
Rb	4,894	2,464	8,408	2,359	7,098	2,344	8,176	2,448	5,052	2,376	4,925	2,421	9,291	2,541	7,120	2,342
Se	4,941	2,855	7,035	2,689	10,082	2,791	10,442	2,828	10,869	2,781	5,581	2,837	4,421	2,921	5,877	2,728
Sn	22,423	5,773	21,620	5,603	ND	ND	6,840	5,615	17,344	5,515	ND	ND	10,409	5,812	14,244	5,410
Sr	11,069	2,298	7,726	1,985	5,403	2,194	11,879	2,300	7,927	2,195	5,424	2,252	12,278	2,385	3,996	2,132
Ti	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	37,988	14,382	20,937	15,240	ND	ND	ND	ND
V	20,444	11,104	ND	ND	28,440	10,830	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	10,370	11,009
Y	ND	ND	ND	ND	4,055	2,160	5,807	2,244	4,140	2,171	3,832	2,193	ND	ND	4,964	1,853
Zr	ND	ND	3,420	2,008	ND	ND	ND	ND	3,487	2,026	ND	ND	3,242	2,166	ND	ND
Zn	9,451	3,713	4,594	3,462	11,992	3,476	ND	ND	18,979	3,562	11,383	3,574	ND	ND	17,626	3,435
pH	11,32		11,29		11,01		11,23		11,83		11,21		11,42		11,26	
ms/cm	2730		2620		2060		2550		2900		2460		2900		1391	

ND significa não detectado.

SBC 2,4 mm (3 DIAS)																
Metal	6 horas		1 dia		2d + 6h		4 dias		9 dias		16 dias		36 dias		64 dias	
	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP
As	6,427	2,739	5,342	2,502	9,347	2,699	10,916	2,797	5,232	2,808	13,360	2,808	3,557	2,879	ND	ND
Ca	196,122	12,485	223,454	13,094	216,244	12,763	107,605	32,303	676,023	16,834	69,410	33,883	39,401	30,167	94,891	30,532
Cd	10,485	4,734	15,214	5,080	19,968	5,145	14,811	4,723	11,653	4,798	ND	ND	11,602	4,928	ND	ND
Cl	4081,731	426,957	5564,449	428,696	4078,658	393,671	4867,762	432,732	5142,121	424,864	4783,735	421,549	4443,315	451,567	5342,298	459,040
Cr	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	12,526	10,013
Cu	33,408	3,883	24,123	3,914	25,430	3,863	18,757	3,802	18,586	3,889	24,246	3,835	32,262	3,987	29,447	4,143
Fe	13,613	6,196	23,858	6,339	33,905	6,225	10,160	6,055	13,651	5,934	20,277	6,224	23,451	6,493	9,578	6,628
K	144,554	73,737	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	101,368	66,142	ND	ND	ND	ND
Mn	14,675	7,764	ND	ND	19,531	7,758	ND	ND	ND	ND	ND	ND	9,366	7,960	12,469	7,841
Nb	ND	ND	3,881	1,874	ND	ND	6,371	1,710	ND	ND	4,182	1,881	3,977	1,782	5,257	1,983
Ni	13,624	4,525	10,886	4,665	15,829	4,163	ND	ND	ND	ND	12,209	4,080	9,333	4,498	11,553	4,422
Rb	9,991	2,347	3,548	2,338	ND	ND	6,664	2,340	6,647	2,351	9,916	2,362	5,560	2,418	8,960	2,465
Se	13,620	2,722	7,168	2,740	7,287	2,695	9,531	2,678	7,988	2,754	ND	ND	6,219	2,823	8,844	2,840
Sn	ND	ND	17,244	5,391	19,974	5,504	14,970	5,400	ND	ND	17,703	5,510	ND	ND	10,935	5,715
Sr	ND	ND	ND	ND	4,562	2,124	6,278	1,948	11,807	2,198	ND	ND	ND	ND	6,882	2,292
Ti	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	19,056	16,144	42,441	16,814
V	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Y	ND	ND	9,387	2,147	4,570	2,121	4,554	2,119	4,670	2,153	8,713	2,149	6,768	2,207	5,392	2,243
Zr	6,683	1,992	ND	ND	4,637	1,976	ND	ND	4,645	2,000	ND	ND	5,552	2,083	7,551	2,087
Zn	19,375	3,471	10,144	3,253	ND	ND	8,993	3,447	7,559	3,405	13,658	3,471	19,608	3,599	17,119	3,630
pH	10,99		10,92		11,09		11,40		11,19		11,01		10,95		10,05	
ms/cm	2020		2060		1748		1366		1410		1507		784		318	

ND significa não detectado.

SBC 2,4 mm (7 DIAS)																
Metal	6 horas		1 dia		2d + 6h		4 dias		9 dias		16 dias		36 dias		64 dias	
	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP
As	ND	ND	4,310	2,828	8,426	2,788	13,479	2,866	7,393	2,736	3,300	2,720	10,159	2,755	ND	ND
Ca	90,420	35,150	206,466	13,125	660,927	16,228	698,285	6,465	429,313	14,346	509,674	15,313	72,720	28,862	84,061	30,377
Cd	ND	ND	21,707	5,089	8,770	5,106	ND	ND	6,900	5,005	ND	ND	ND	ND	14,224	4,785
Cl	5627,298	434,594	6110,771	432,260	4040,069	422,301	4565,602	2,570	3947,773	423,328	2151,192	427,808	3478,105	432,796	5618,499	436,336
Cr	ND	ND	ND	ND	21,602	8,444	ND	ND	10,864	9,032	17,138	9,238	ND	ND	13,751	9,612
Cu	33,480	3,997	22,265	3,816	23,813	3,837	21,310	3,882	31,100	3,913	8,792	3,768	30,494	3,857	20,679	3,924
Fe	ND	ND	14,630	6,284	ND	ND	ND	ND	25,005	6,299	32,466	6,176	ND	ND	20,827	6,108
K	100,961	72,547	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	123,065	64,828	112,701	68,736	169,641	75,483
Mn	11,705	7,958	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	10,164	7,671	ND	ND	ND	ND
Nb	ND	ND	6,233	1,905	6,528	1,872	ND	ND	ND	ND	2,164	1,814	ND	ND	3,518	1,905
Ni	10,725	4,608	ND	ND	8,469	4,588	5,570	4,397	ND	ND	15,649	4,474	8,937	4,526	19,352	4,719
Rb	5,273	2,147	8,416	2,392	6,826	2,332	ND	ND	7,252	2,339	ND	ND	4,771	2,307	14,367	2,401
Se	ND	ND	ND	ND	ND	ND	11,991	2,768	9,202	2,687	3,604	2,603	5,335	2,711	7,007	2,746
Sn	11,180	5,509	ND	ND	12,350	5,376	14,572	5,432	ND	ND	16,737	5,476	ND	ND	18,001	5,620
Sr	10,092	2,196	6,153	2,179	5,045	2,134	7,810	2,169	ND	ND	8,635	2,135	3,643	2,147	7,592	2,207
Ti	ND	ND	24,322	14,997	ND	ND	ND	ND	ND	ND	20,515	13,909	15,194	14,318	ND	ND
V	ND	ND	ND	ND	17,806	12,343	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Y	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	5,198	2,119	5,187	2,004	6,200	2,093	3,314	2,160
Zr	5,521	2,014	7,301	2,035	2,686	1,977	5,090	1,842	3,965	1,824	2,622	1,962	6,284	1,976	6,104	2,027
Zn	12,362	3,506	19,376	3,495	8,983	3,445	12,680	3,415	16,958	3,461	6,949	3,415	19,429	3,471	ND	ND
pH	11,22		11,48		11,29		11,12		11,29		11,67		11,28		10,84	
ms/cm	1828		1762		1630		1696		1914		1626		964		1307	

ND significa não detectado.

SBC 2,4 mm (28 DIAS)																
Metal	6 horas		1 dia		2d + 6h		4 dias		9 dias		16 dias		36 dias		64 dias	
	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP
As	ND	ND	ND	ND	ND	ND	6,052	2,832	ND	ND	4,177	2,758	11,391	2,788	ND	ND
Ca	285,737	14,326	829,375	18,675	343,740	14,609	296,882	13,886	298,096	13,965	294,299	3,504	197,109	34,945	66,955	34,814
Cd	6,590	4,469	ND	ND	22,698	5,265	ND	ND	ND	ND	16,423	5,087	ND	ND	15,560	5,324
Cl	9223,656	450,851	5355,503	392,647	9048,393	441,453	6071,036	443,291	6579,598	439,402	4936,359	9,565	3728,498	93,181	4905,865	417,387
Cr	24,112	9,726	ND	ND	10,709	9,818	10,046	9,613	ND	ND	ND	ND	ND	ND	26,324	9,822
Cu	24,268	4,028	11,949	3,968	18,377	4,038	23,488	3,908	24,137	3,956	22,595	3,827	29,956	3,854	24,534	3,999
Fe	ND	ND	20,360	6,429	ND	ND	ND	ND	10,232	6,223	17,262	5,840	17,861	6,221	33,290	6,699
K	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	84,625	71,274	ND	ND	ND	ND	80,704	75,279
Mn	ND	ND	17,216	7,882	25,265	7,084	18,858	7,771	ND	ND	ND	ND	ND	ND	29,941	6,980
Nb	5,225	1,979	4,389	1,895	4,081	1,945	ND	ND	11,186	1,962	2,484	1,831	3,204	1,845	ND	ND
Ni	12,188	4,615	ND	ND	ND	ND	ND	ND	5,756	4,130	11,538	4,744	ND	ND	15,120	4,969
Rb	ND	ND	5,988	2,382	5,189	2,453	ND	ND	5,466	2,403	ND	ND	8,731	2,264	8,639	2,441
Se	4,710	2,867	6,827	2,732	12,270	2,860	8,558	2,755	7,140	2,817	10,160	2,481	8,870	2,686	5,991	2,823
Sn	21,906	5,712	16,264	5,590	26,304	5,722	8,717	5,541	12,423	5,487	20,992	5,431	6,329	5,413	10,863	5,746
Sr	9,241	2,266	7,360	2,214	7,980	2,287	3,553	2,183	3,585	2,213	3,673	2,165	10,176	2,138	ND	ND
Ti	31,410	15,360	32,954	16,339	ND	ND	ND	ND	ND	ND	20,898	5,233	15,382	13,628	29,330	14,843
V	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Y	8,827	2,223	ND	ND	6,583	2,226	ND	ND	4,863	2,194	3,387	2,122	9,004	2,113	6,135	2,226
Zr	ND	ND	ND	ND	ND	ND	4,769	2,041	ND	ND	ND	ND	6,040	2,007	5,349	2,095
Zn	11,318	3,604	16,162	3,575	10,505	3,653	ND	ND	14,918	3,572	6,470	3,475	11,933	3,397	7,976	3,636
pH	11,16		11,51		11,23		11,59		11,50		11,16		11,37		10,94	
ms/cm	2450		2190		2080		2250		2820		2080		3310		1587	

ND significa não detectado.

URM 2,4 - 3 dias																
Metal	6 horas		1 dia		2d + 6h		4 dias		9 dias		16 dias		36 dias		64 dias	
	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP
As	6,117	2,568	7,904	2,716	7,604	2,725	5,396	2,732	ND	ND	3,667	2,789	3,521	2,786	4,790	2,917
Ca	296,886	14,129	281,305	13,582	285,450	13,418	275,720	13,457	670,528	16,084	223,706	12,626	59,368	34,819	64,574	31,114
Cd	18,001	4,935	13,078	5,031	14,191	4,760	15,832	4,748	ND	ND	ND	ND	18,809	4,353	33,287	5,403
Cl	5703,194	428,927	2295,432	431,441	3918,228	430,081	4610,161	420,872	2218,030	429,012	5240,976	428,400	5386,344	442,681	5075,275	453,094
Cr	13,836	9,448	11,192	9,215	ND	ND	ND	ND	15,909	8,762	ND	ND	19,830	9,751	13,801	10,061
Cu	30,696	3,893	32,948	3,768	25,830	3,884	25,170	3,869	16,969	3,947	21,683	3,848	28,288	3,963	31,315	4,102
Fe	28,554	6,520	14,797	6,071	11,819	6,265	ND	ND	ND	ND	29,475	6,412	ND	ND	23,107	6,027
K	139,854	68,524	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	111,964	83,739	ND	ND
Mn	ND	ND	15,480	7,615	ND	ND	ND	ND	12,972	7,743	27,493	7,740	16,052	7,664	29,954	8,247
Nb	4,323	1,884	ND	ND	2,597	1,833	5,987	1,846	7,544	1,898	4,065	1,863	ND	ND	4,919	1,884
Ni	ND	ND	7,344	4,571	ND	ND	ND	ND	ND	ND	6,005	4,721	ND	ND	15,375	4,343
Rb	4,391	2,345	5,746	2,289	7,905	2,299	7,770	2,320	5,492	2,334	6,788	2,143	5,662	2,392	10,332	2,474
Se	6,372	2,767	11,245	2,394	6,701	2,720	7,858	2,759	4,326	2,703	ND	ND	13,346	2,769	ND	ND
Sn	23,579	5,496	ND	ND	10,005	5,460	17,890	5,439	22,751	5,671	13,330	5,490	17,299	5,540	17,230	5,715
Sr	ND	ND	ND	ND	11,104	2,147	8,851	2,154	ND	ND	ND	ND	7,844	2,175	5,844	2,271
Ti	ND	ND	ND	ND	ND	ND	25,612	15,422	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
V	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Y	ND	ND	6,743	2,096	ND	ND	7,062	2,131	4,581	2,149	4,156	2,152	ND	ND	8,041	2,245
Zr	ND	ND	6,756	1,958	2,115	1,960	3,262	1,882	ND	ND	ND	ND	ND	ND	4,430	2,088
Zn	10,343	3,458	25,022	3,466	8,990	3,376	9,077	3,493	12,158	3,470	4,327	3,435	14,444	3,480	15,335	3,623
pH	10,98		11,09		11,26		11,42		11,29		11,12		11,17		10,44	
ms/cm	2740		2830		2320		1803		1873		1921		1107		533	

ND significa não detectado.

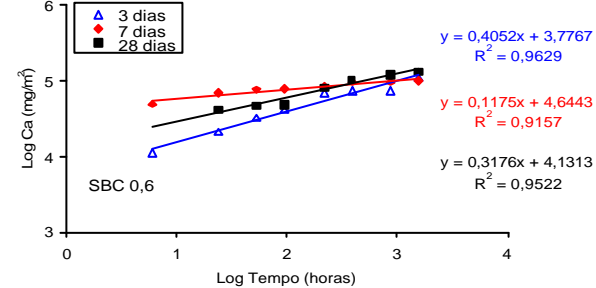
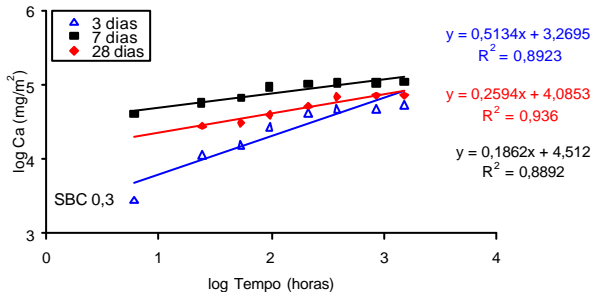
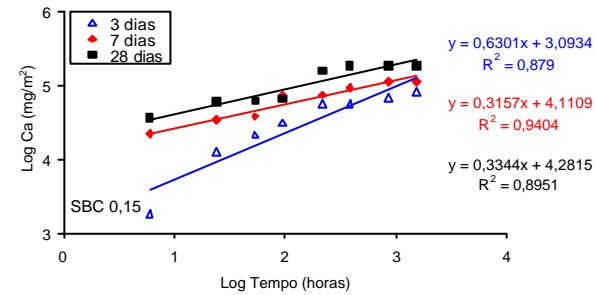
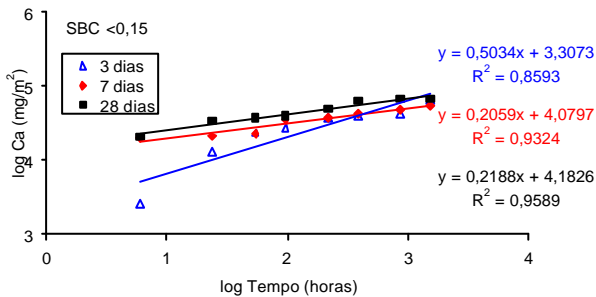
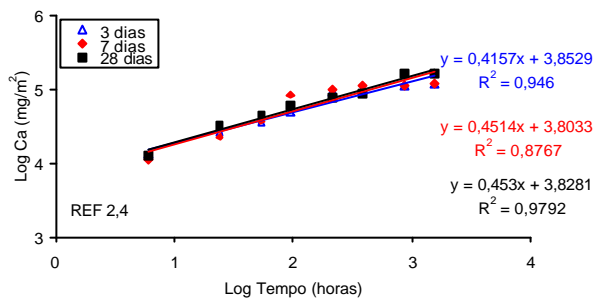
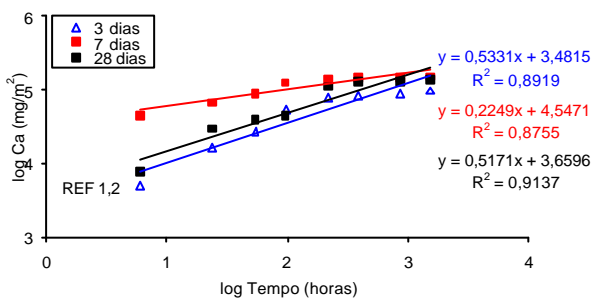
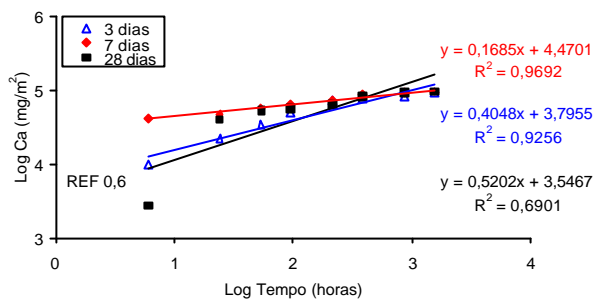
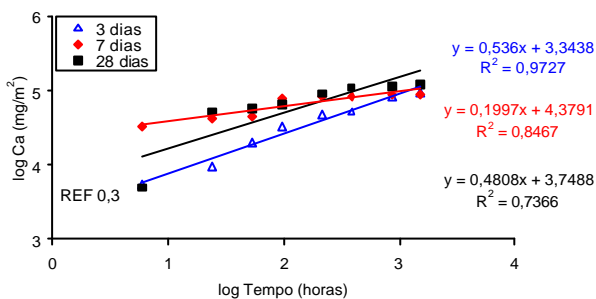
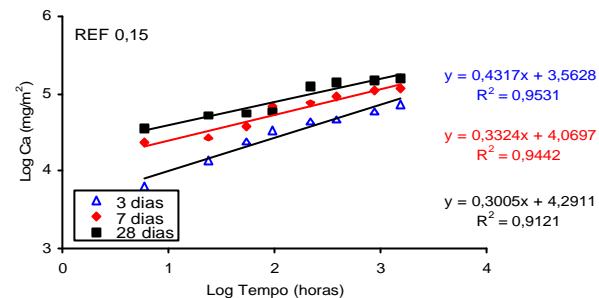
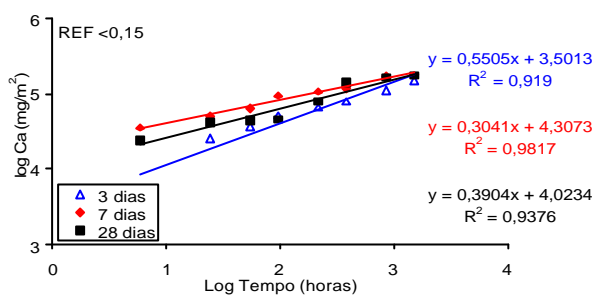
URM 2,4 mm (7 DIAS)																
Metal	6 horas		1 dia		2d + 6h		4 dias		9 dias		16 dias		36 dias		64 dias	
	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP
As	8,182	2,880	7,519	2,802	11,554	2,808	ND	ND	ND	ND	3,219	2,798	6,268	2,785	6,825	2,742
Ca	228,253	14,029	243,492	13,117	562,410	15,810	683,680	16,616	2009,391	24,416	321,613	13,971	51,148	33,622	150,890	12,628
Cd	17,606	4,921	11,370	4,848	8,714	5,071	14,804	4,887	12,854	5,149	8,847	5,089	17,474	4,258	19,629	5,160
Cl	6867,317	432,705	5265,102	431,850	4652,003	432,176	2694,094	424,697	3567,225	379,263	4184,645	423,737	3640,120	388,754	4971,497	432,187
Cr	ND	ND	20,655	9,803	ND	ND	16,687	8,077	24,251	7,951	17,909	9,644	ND	ND	ND	ND
Cu	26,798	3,988	15,593	3,631	21,817	3,898	17,858	3,804	23,465	3,515	19,804	3,877	29,872	3,889	22,020	3,866
Fe	9,706	6,137	21,081	6,248	14,751	6,143	18,173	5,953	19,507	6,333	25,948	6,221	ND	ND	15,832	6,254
K	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	195,104	76,449	ND	ND
Mn	12,031	7,465	13,486	6,966	ND	ND	11,853	7,587	21,196	7,458	ND	ND	ND	ND	19,012	7,633
Nb	ND	ND	ND	ND	ND	ND	4,282	1,830	4,545	1,740	3,213	1,841	4,098	1,882	4,131	1,870
Ni	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	7,027	4,728	19,435	4,234
Rb	ND	ND	6,128	2,305	3,697	2,313	7,377	2,298	ND	ND	8,082	2,353	ND	ND	7,978	2,360
Se	8,740	2,777	10,599	2,762	9,862	2,712	10,479	2,704	ND	ND	12,919	2,700	10,514	2,709	10,510	2,741
Sn	ND	ND	19,767	5,492	ND	ND	ND	ND	19,029	5,567	20,950	5,488	23,098	5,482	15,331	5,563
Sr	10,432	2,218	8,285	2,153	ND	ND	ND	ND	8,356	2,006	9,358	2,159	ND	ND	6,763	2,189
Ti	ND	ND	ND	ND	ND	ND	36,940	14,384	ND	ND	23,828	14,181	ND	ND	ND	ND
V	ND	ND	ND	ND	ND	ND	14,879	10,613	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Y	4,512	2,162	ND	ND	5,664	2,151	5,429	2,096	6,999	2,178	6,758	2,129	9,789	2,128	3,110	2,117
Zr	2,396	1,845	2,880	1,842	3,829	1,998	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Zn	13,316	3,534	11,624	3,473	8,853	3,450	8,103	3,421	18,528	3,569	10,732	3,424	10,343	3,443	17,173	3,466
pH	11,37		11,41		11,27		11,08		11,35		11,61		11,23		10,78	
ms/cm	2110		1970		1643		1701		1915		1571		860		1051	

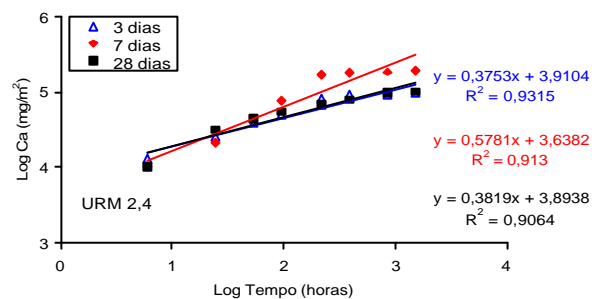
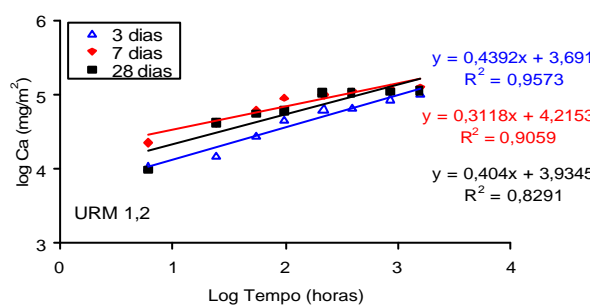
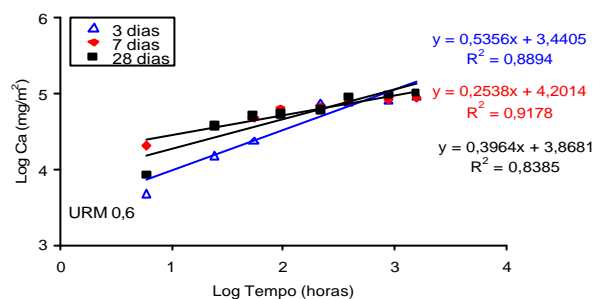
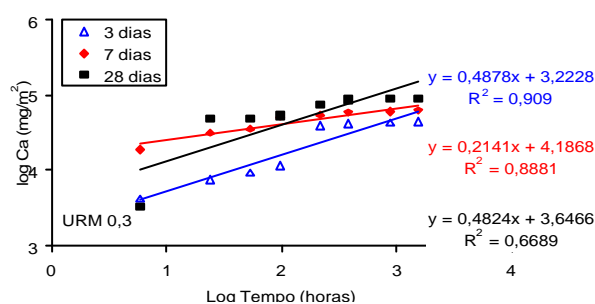
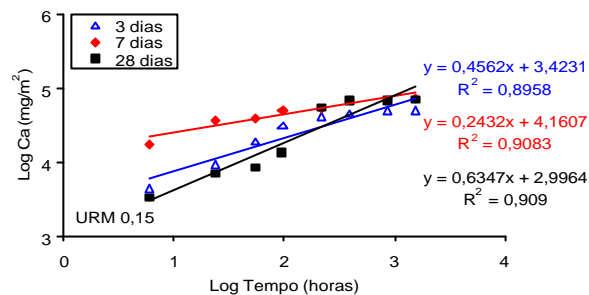
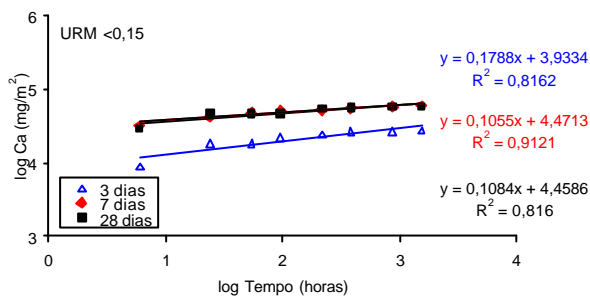
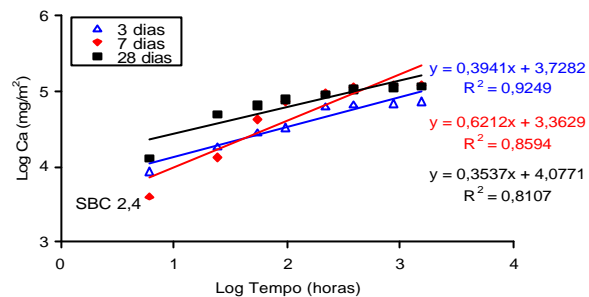
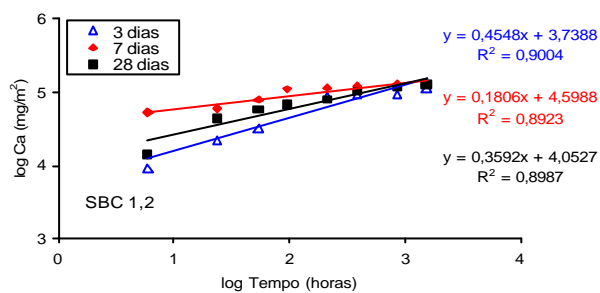
ND significa não detectado.

URM 2,4 mm (28 DIAS)																
Metal	6 horas		1 dia		2d + 6h		4 dias		9 dias		16 dias		36 dias		64 dias	
	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP	mg/L	DP
As	ND	ND	ND	ND	9,503	2,899	ND	ND	9,736	2,863	3,688	2,733	ND	ND	9,621	2,819
Ca	233,659	13,493	476,743	15,221	288,910	14,097	230,626	13,502	281,759	13,589	279,251	13,696	391,393	14,617	41,019	34,108
Cd	22,855	5,193	31,003	5,306	ND	ND	6,865	5,319	20,383	5,162	21,919	5,018	12,203	5,239	13,136	4,811
Cl	7147,159	452,619	8444,182	446,663	8072,032	426,316	6837,516	465,290	6054,839	439,125	6152,698	440,729	5696,704	440,210	3831,635	382,291
Cr	14,894	9,911	ND	ND	ND	ND	ND	ND	12,158	9,801	10,055	9,605	30,073	9,426	ND	ND
Cu	31,054	4,054	30,353	4,025	29,229	4,084	ND	ND	26,244	3,803	30,859	3,625	33,388	4,016	26,669	3,890
Fe	26,667	6,376	24,711	6,421	21,838	6,633	27,593	6,602	10,702	6,346	25,510	6,354	ND	ND	17,761	6,277
K	ND	ND	ND	ND	150,634	79,450	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	159,383	70,651
Mn	ND	ND	16,318	8,093	ND	ND	23,700	8,259	ND	ND	9,307	7,594	ND	ND	17,258	7,849
Nb	ND	ND	3,147	1,963	ND	ND	3,787	1,979	ND	ND	ND	ND	3,997	1,906	3,525	1,713
Ni	ND	ND	ND	ND	ND	ND	8,635	4,925	10,635	4,810	11,783	4,722	9,842	4,644	ND	ND
Rb	3,289	2,416	9,145	2,458	ND	ND	8,793	2,494	7,034	2,388	7,183	2,352	6,657	2,380	9,581	2,362
Se	ND	ND	5,392	2,846	9,792	2,830	ND	ND	ND	ND	5,416	2,791	ND	ND	5,495	2,686
Sn	20,156	5,479	25,816	5,678	17,186	5,663	16,738	5,206	ND	ND	ND	ND	12,799	5,562	ND	ND
Sr	7,438	2,221	4,271	2,233	4,044	2,245	3,864	2,306	6,996	2,206	9,570	2,213	9,977	2,218	4,690	2,182
Ti	36,718	16,038	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
V	ND	ND	14,279	11,825	15,076	13,181	17,489	11,011	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Y	8,598	2,193	7,619	2,230	4,899	2,199	6,737	2,303	8,438	2,184	7,911	2,180	4,425	2,158	4,218	2,126
Zr	ND	ND	3,153	2,081	3,058	1,992	ND	ND	4,097	2,033	5,066	2,047	ND	ND	ND	ND
Zn	10,052	3,611	15,328	3,665	11,373	3,595	14,604	3,708	7,939	3,556	15,321	3,528	4,026	3,556	15,190	3,457
pH	11,11		11,40		11,15		11,47		11,50		11,16		11,18		10,69	
ms/cm	2280		2070		1936		1973		2300		2080		2500		1087	

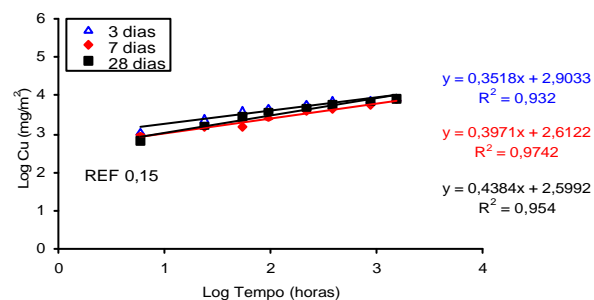
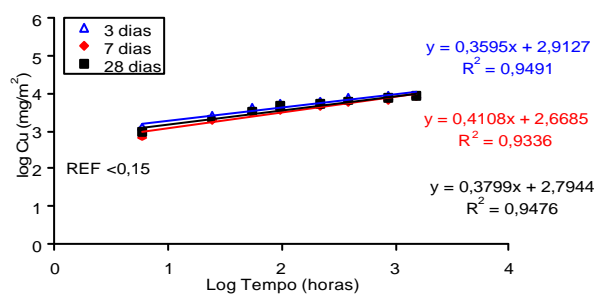
ND significa não detectado.

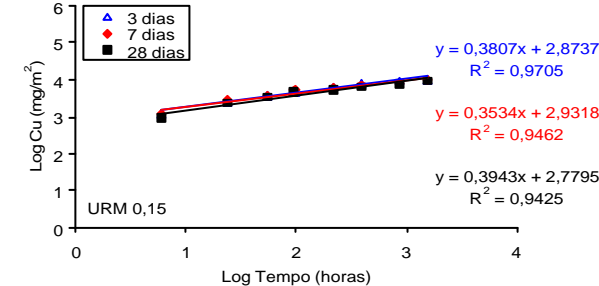
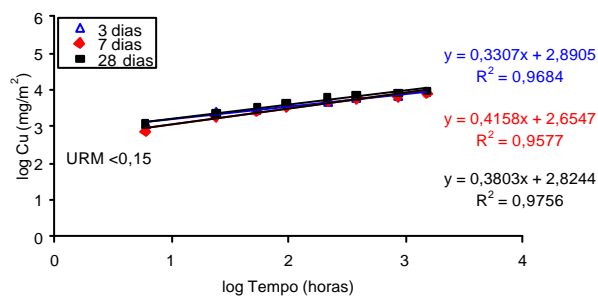
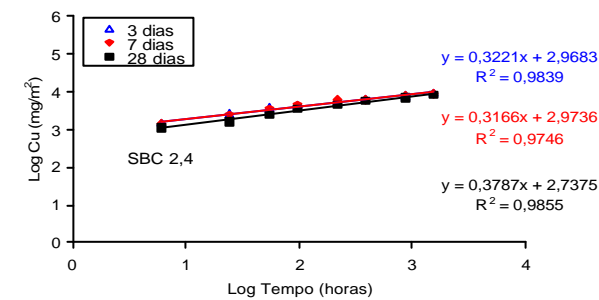
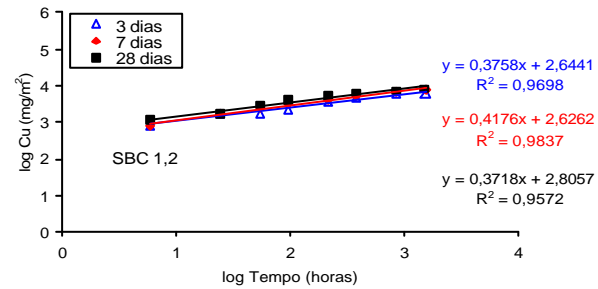
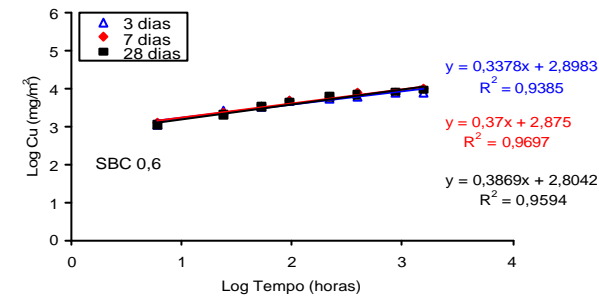
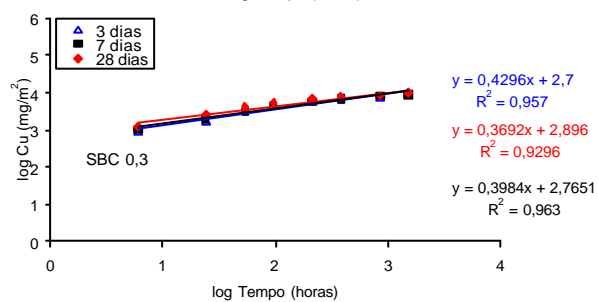
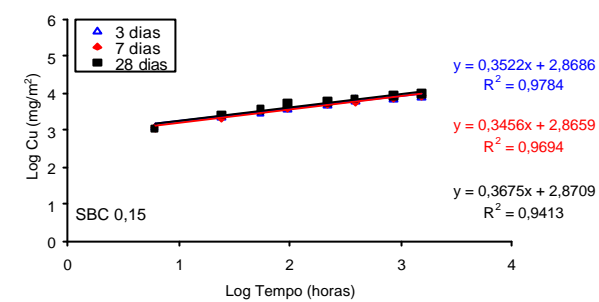
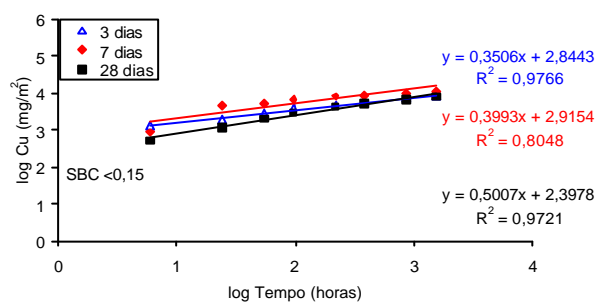
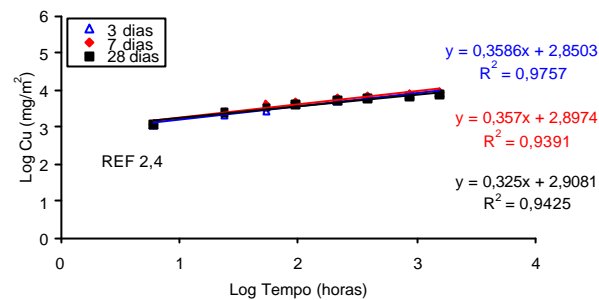
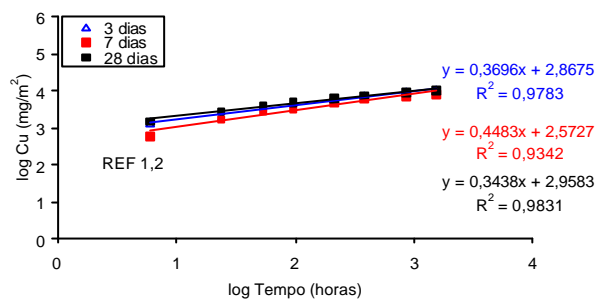
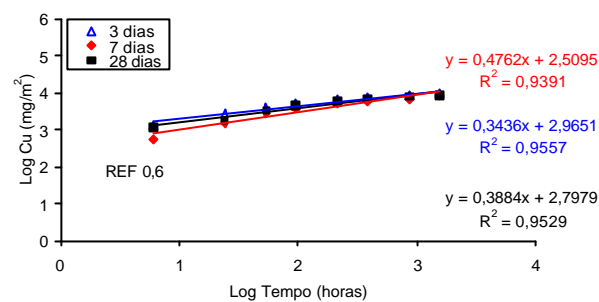
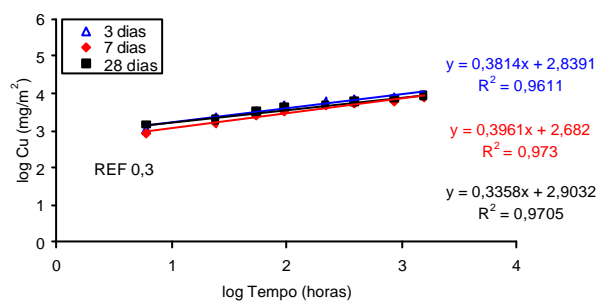
Log Ca x Log tempo

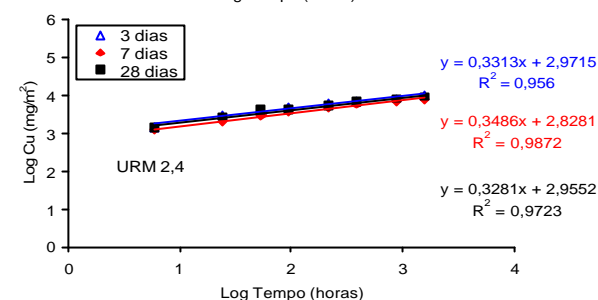
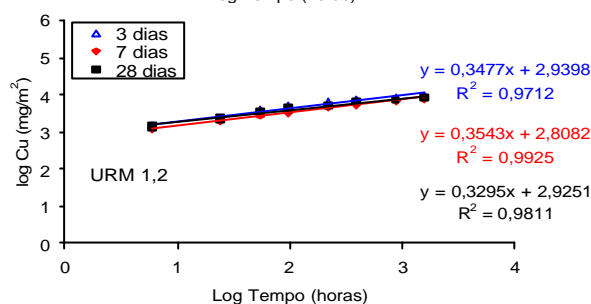
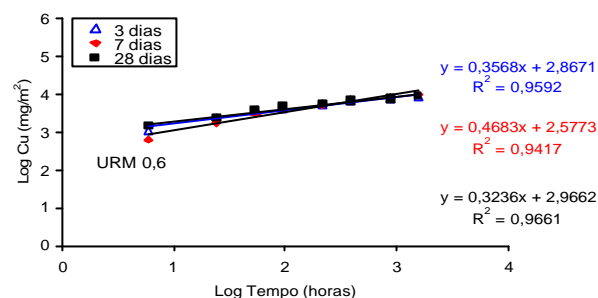
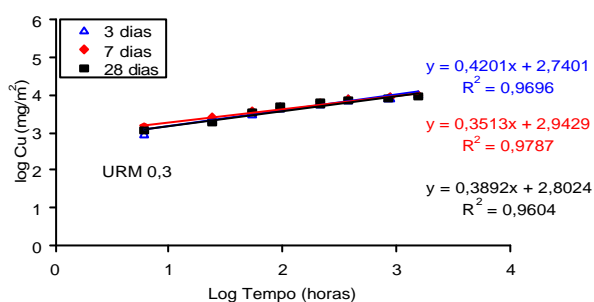




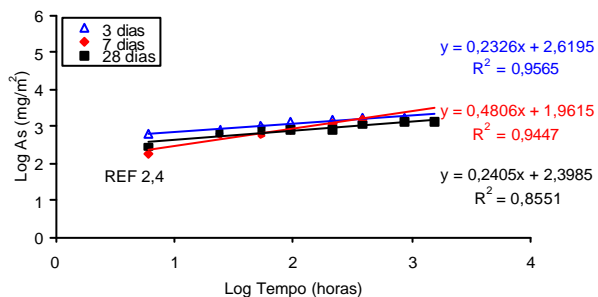
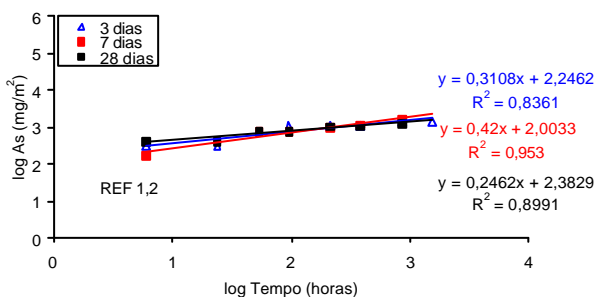
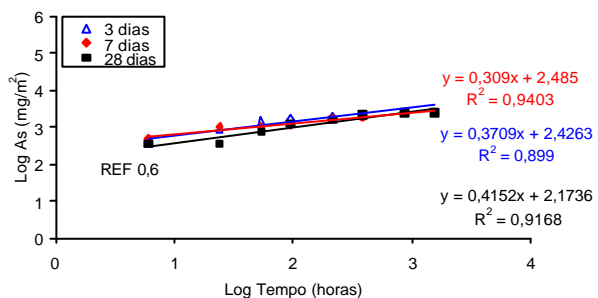
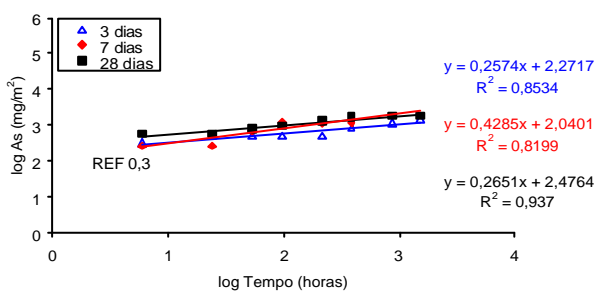
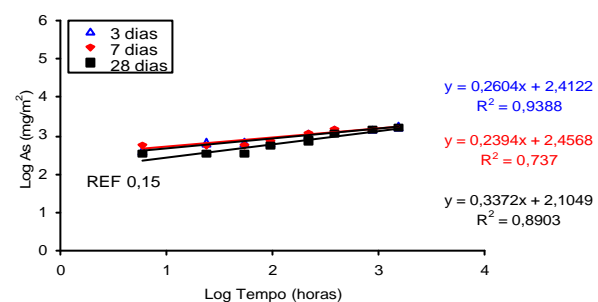
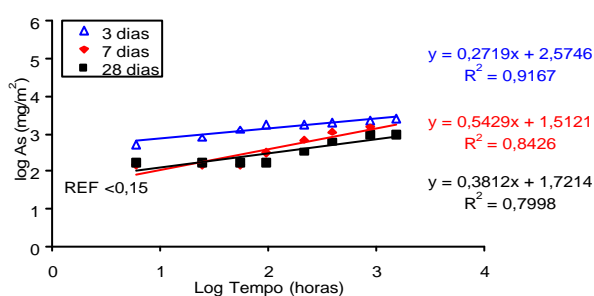
Log Cu x Log tempo

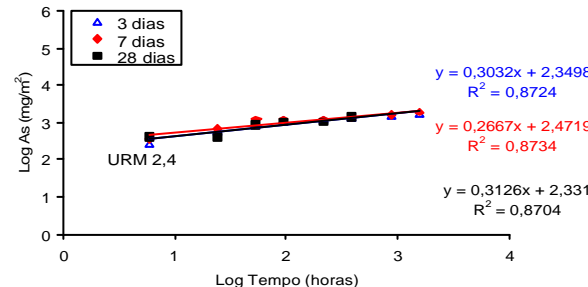
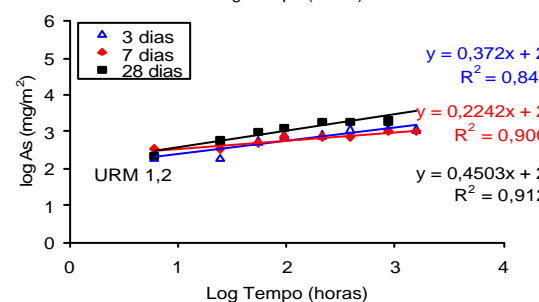
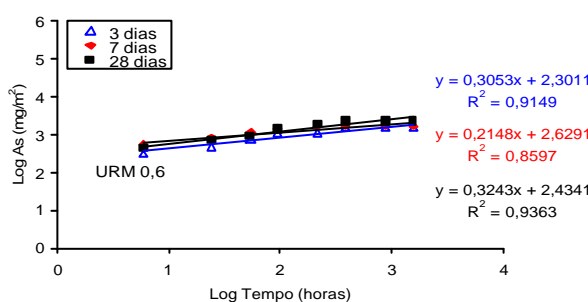
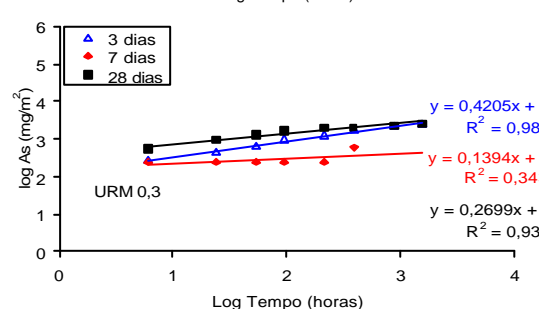
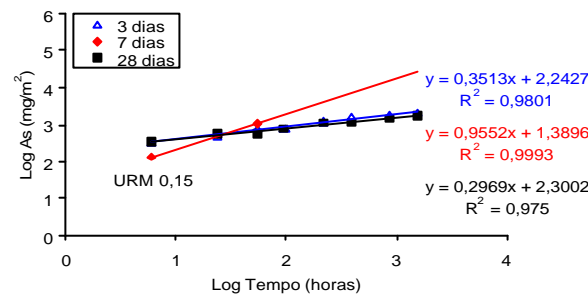
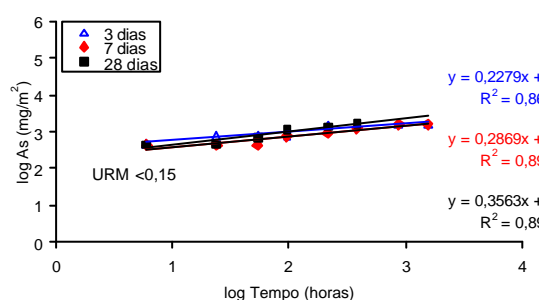
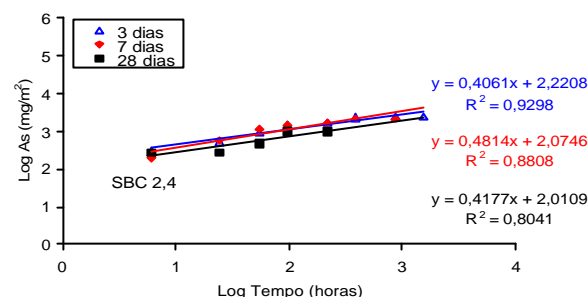
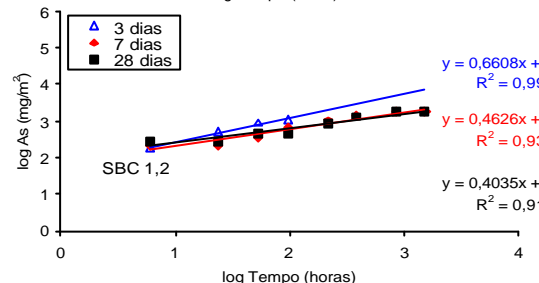
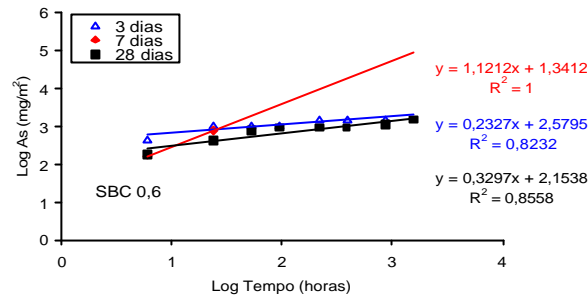
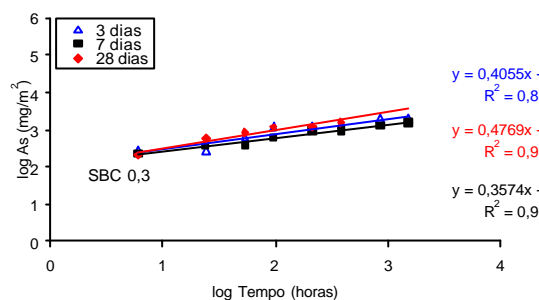
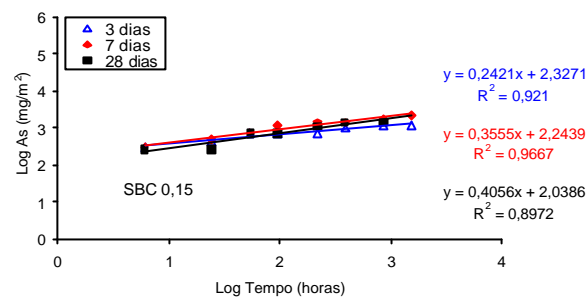
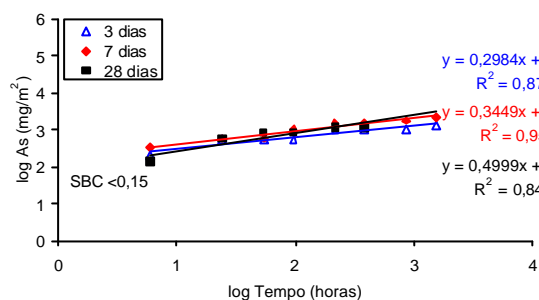




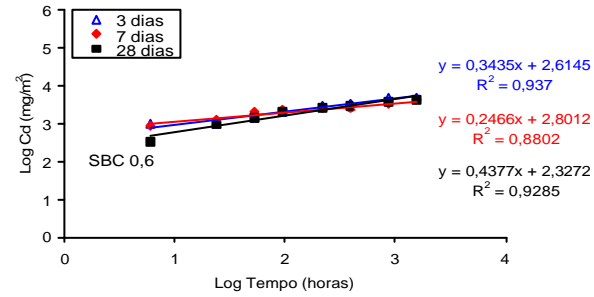
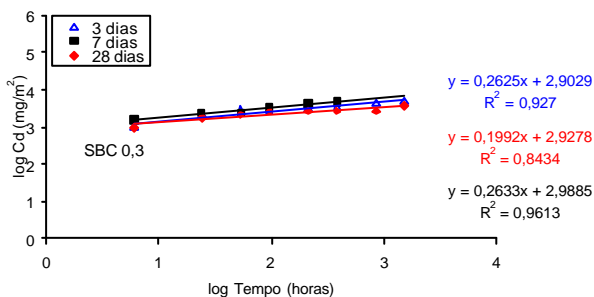
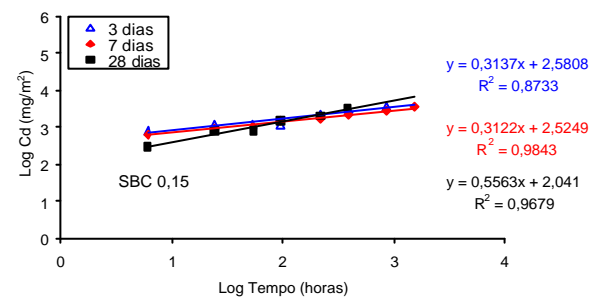
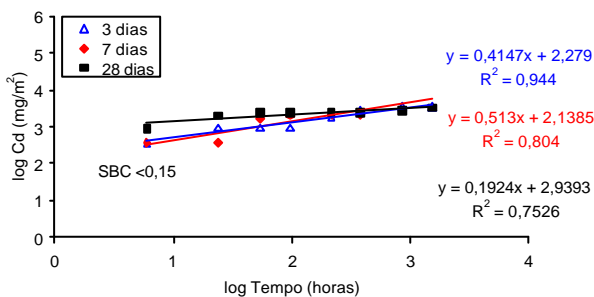
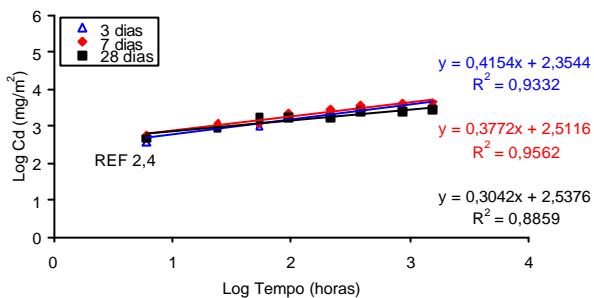
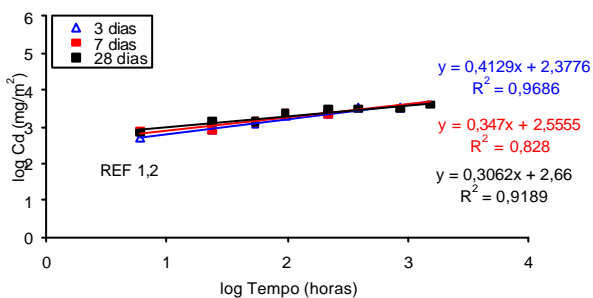
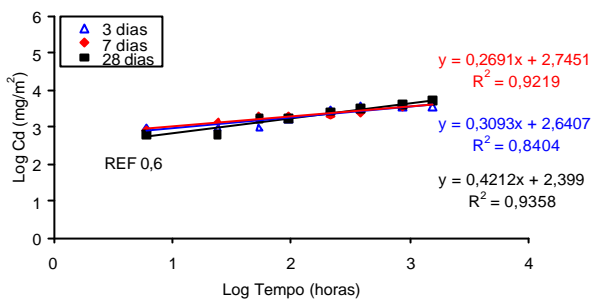
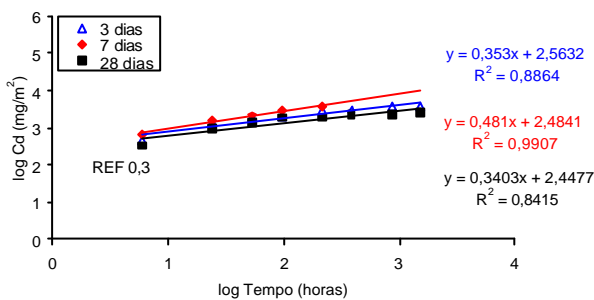
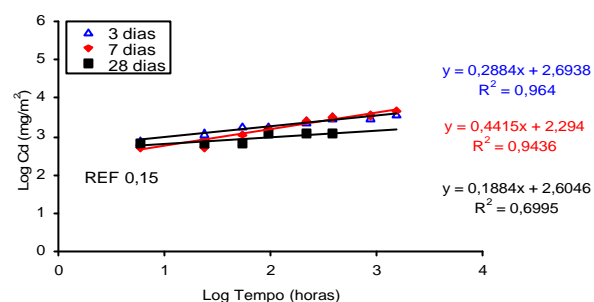
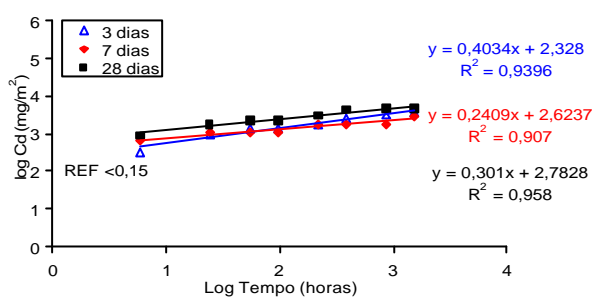


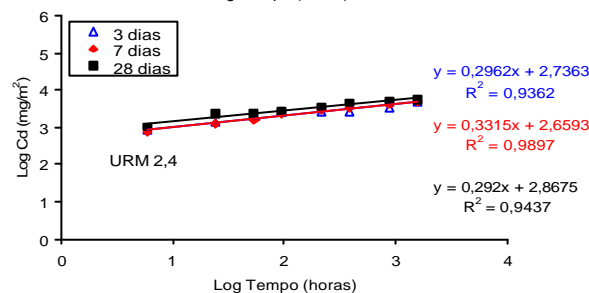
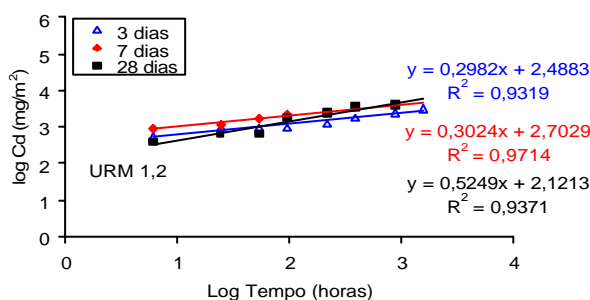
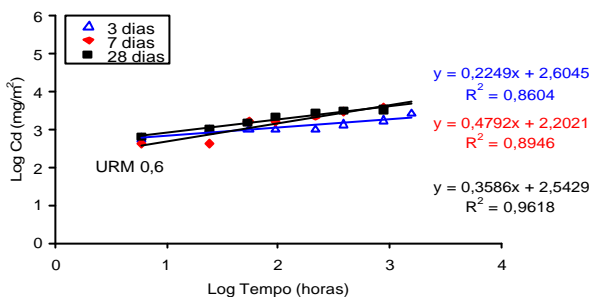
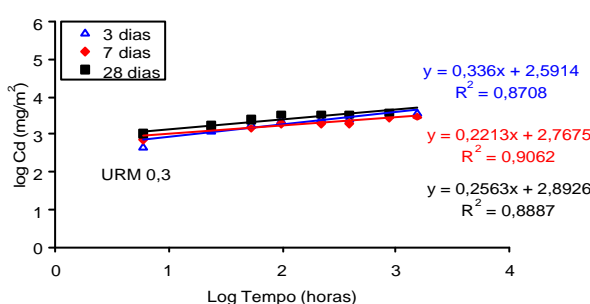
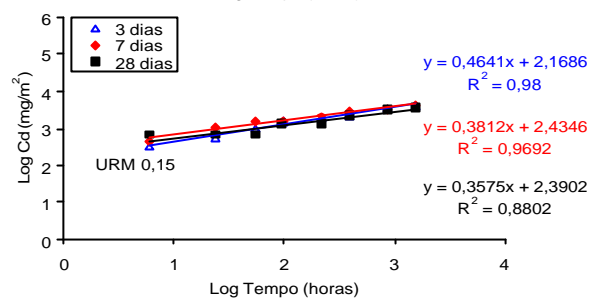
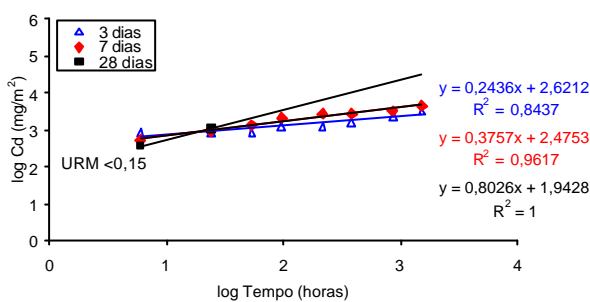
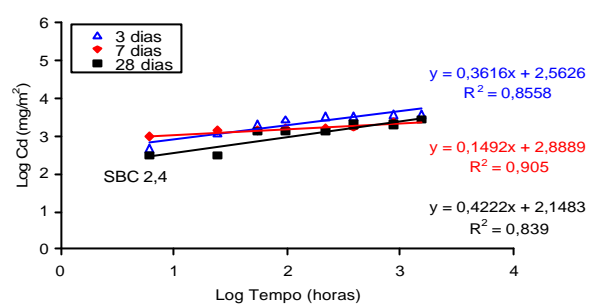
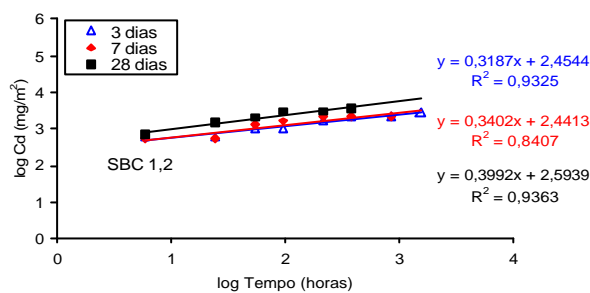
Log As x Log tempo



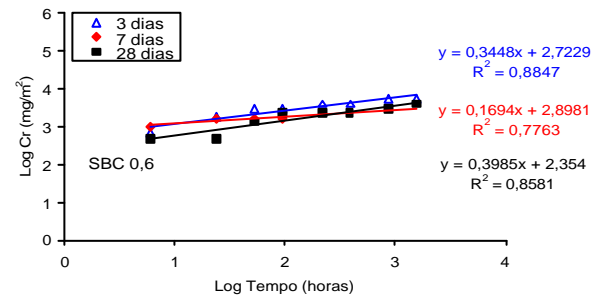
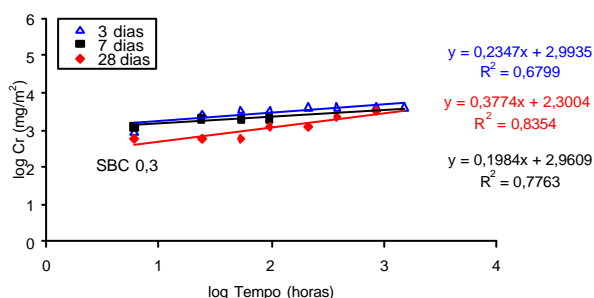
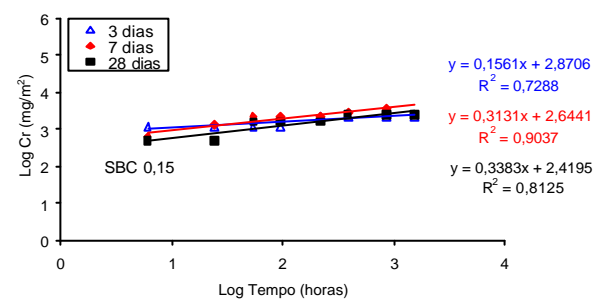
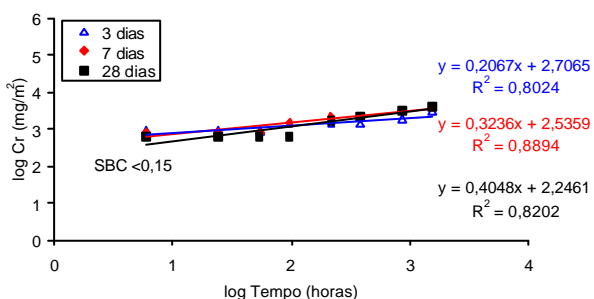
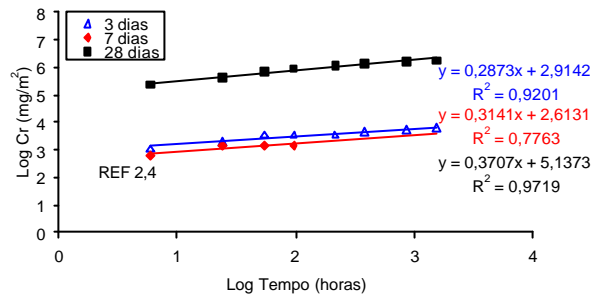
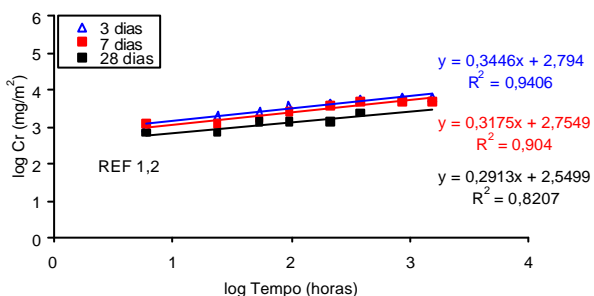
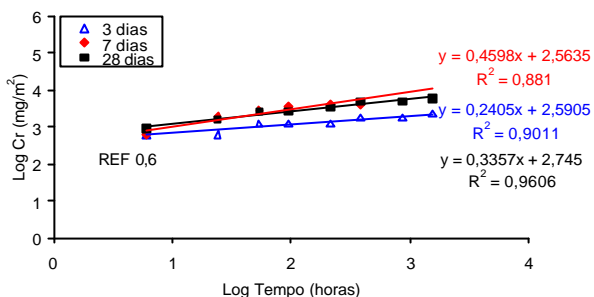
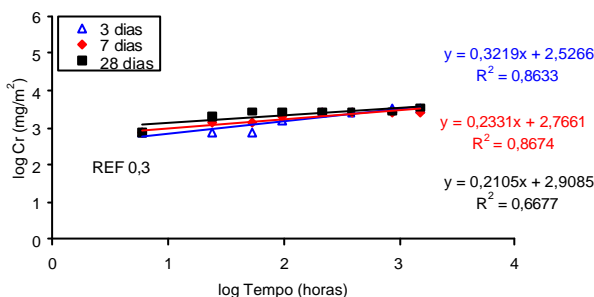
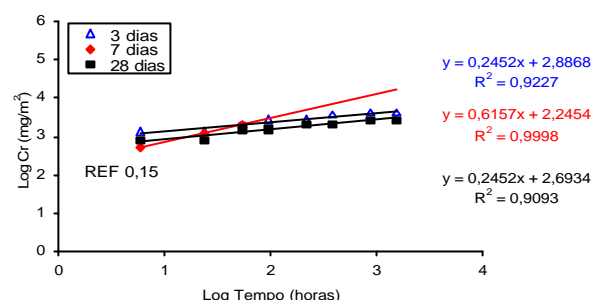
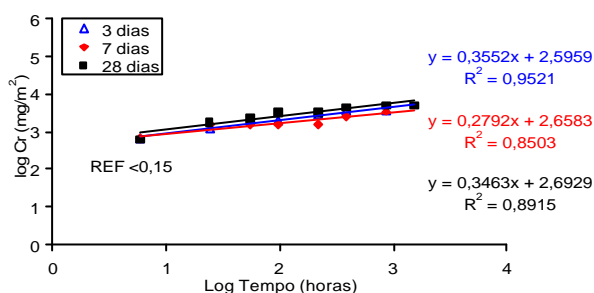


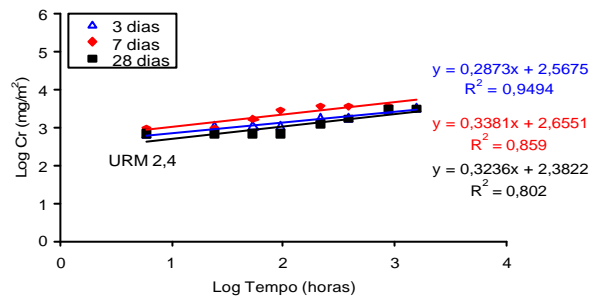
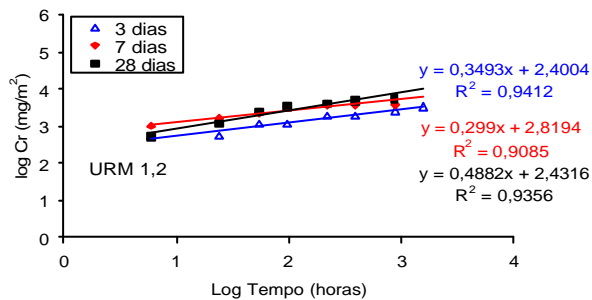
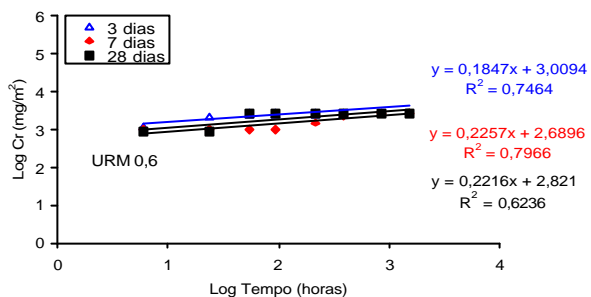
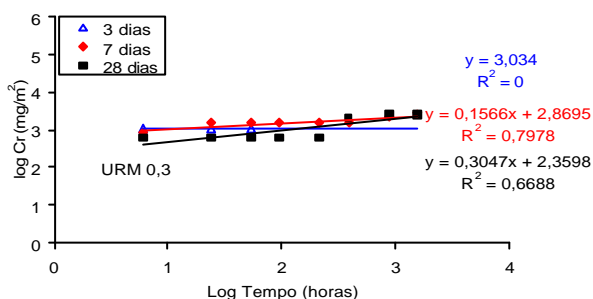
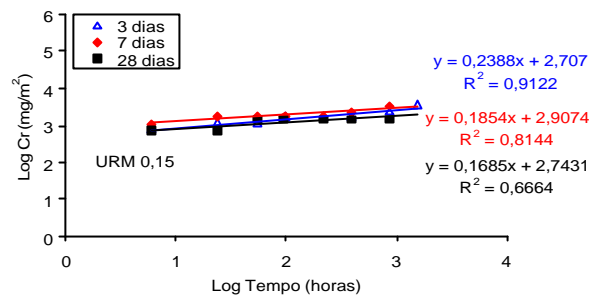
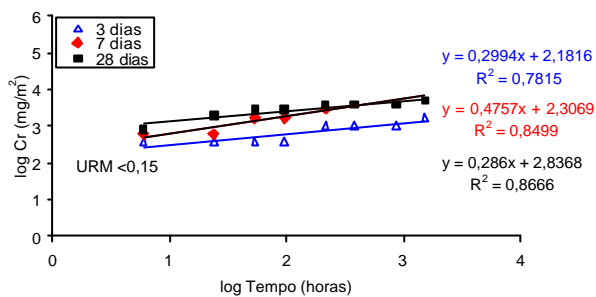
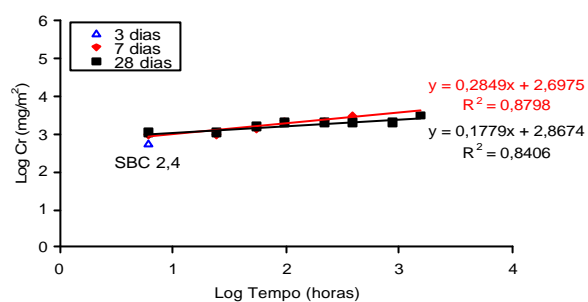
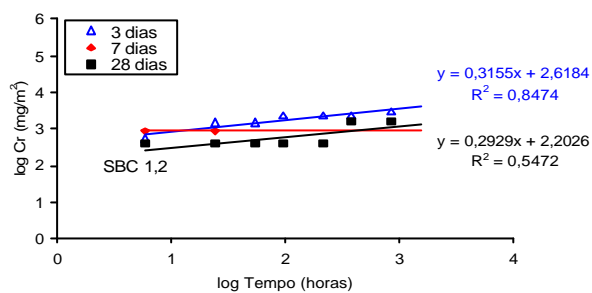
Log Cd x Log tempo



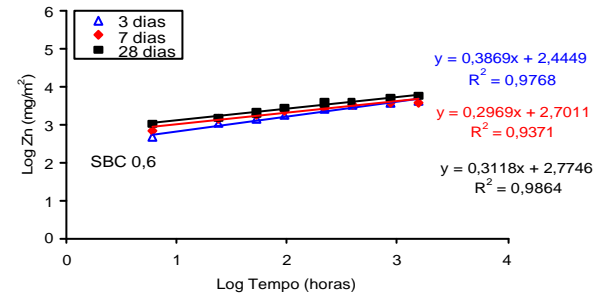
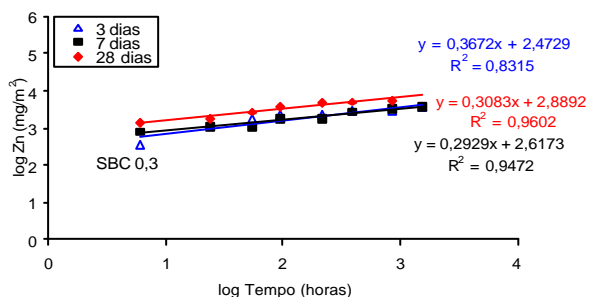
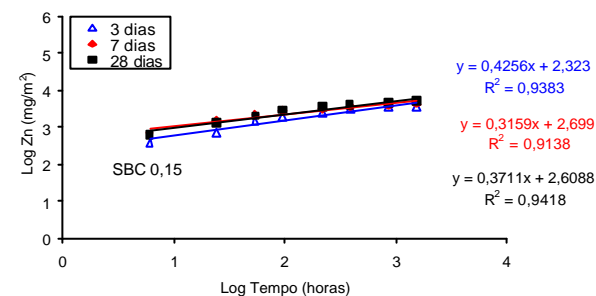
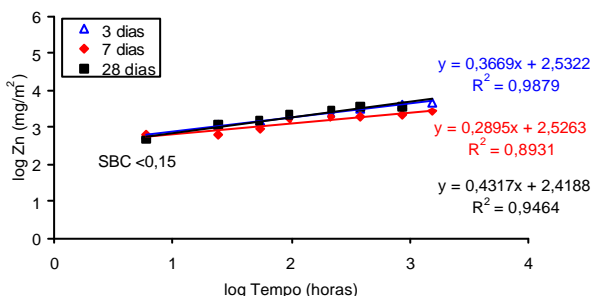
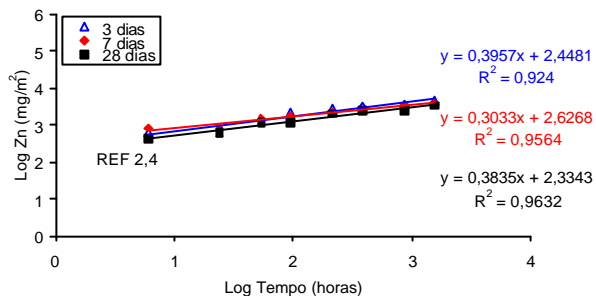
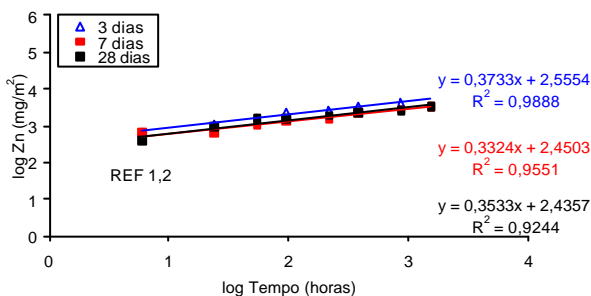
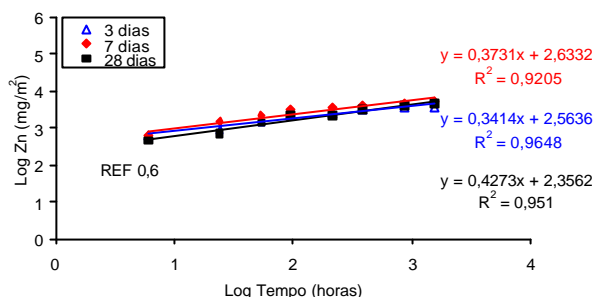
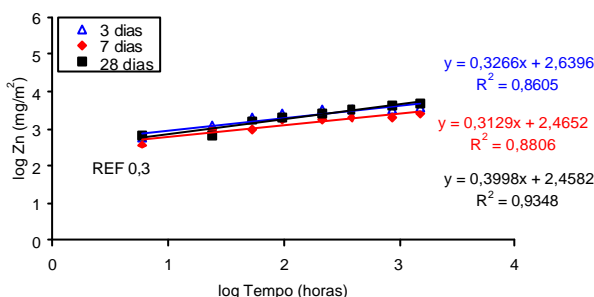
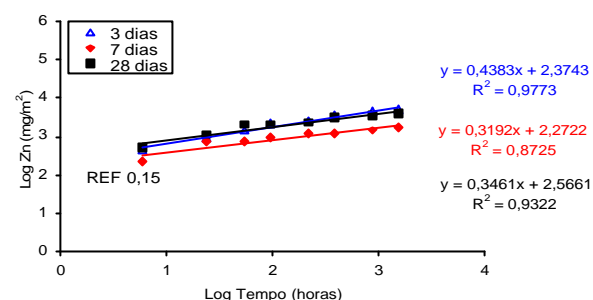
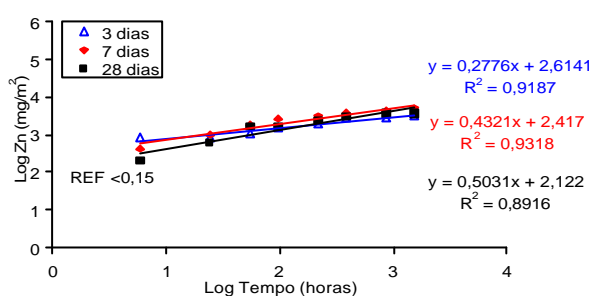


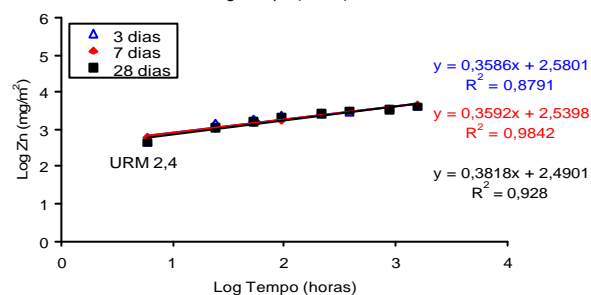
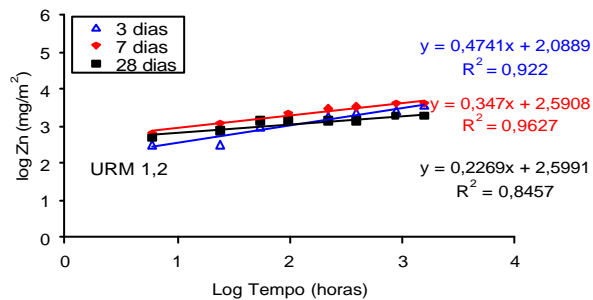
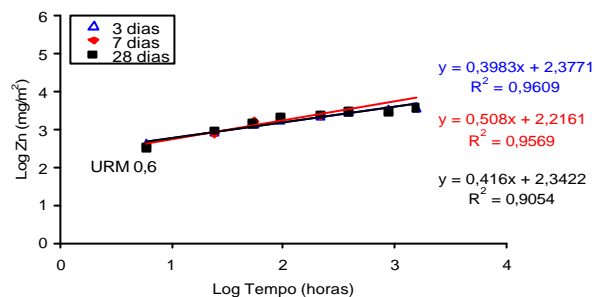
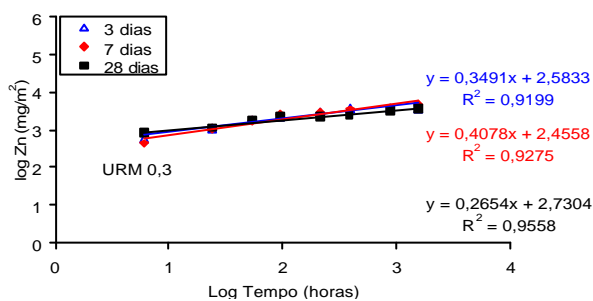
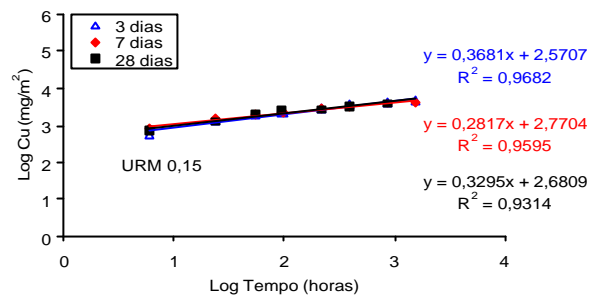
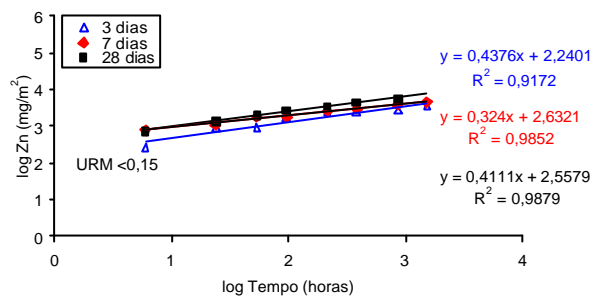
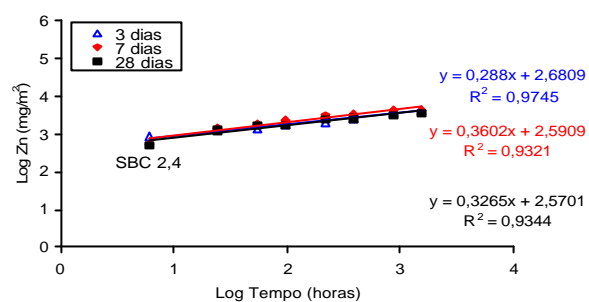
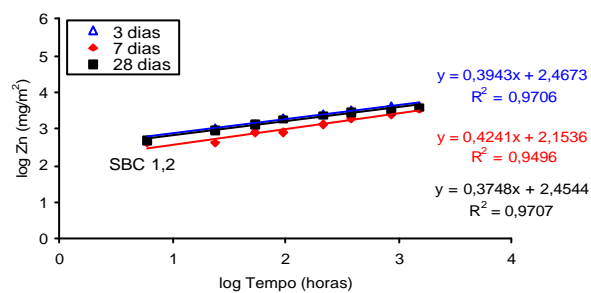
Log Cr x Log tempo



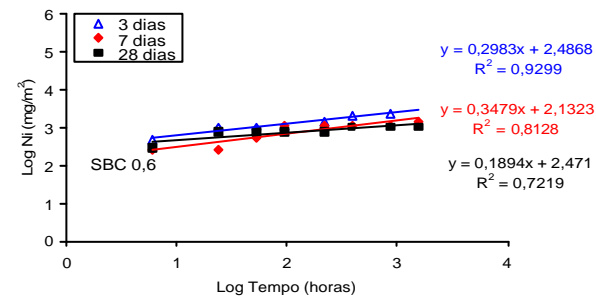
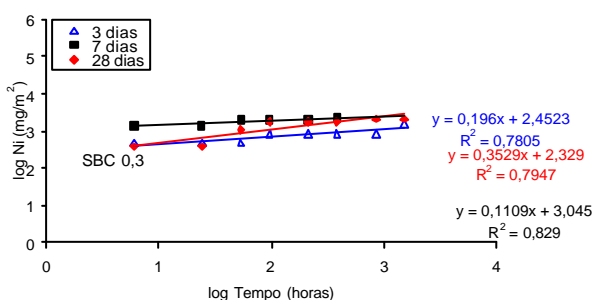
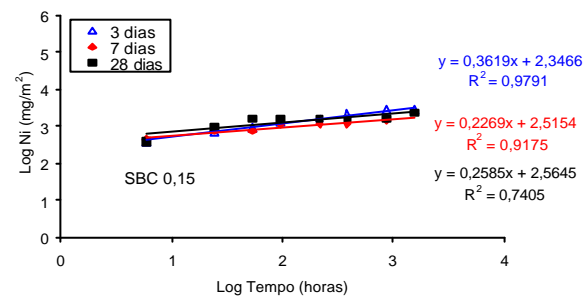
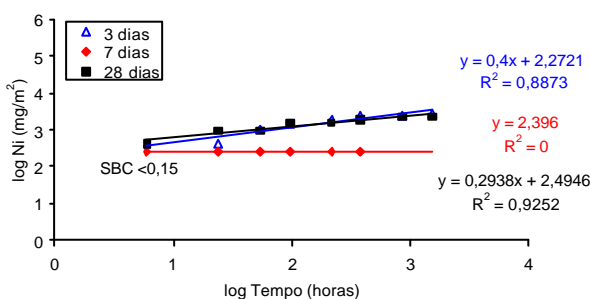
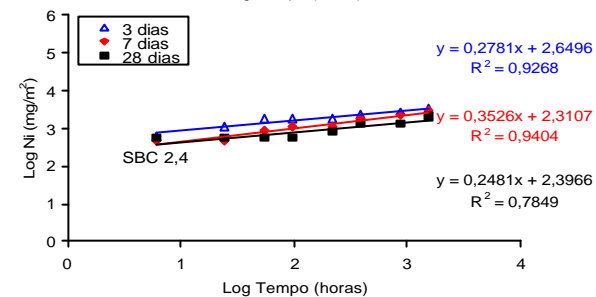
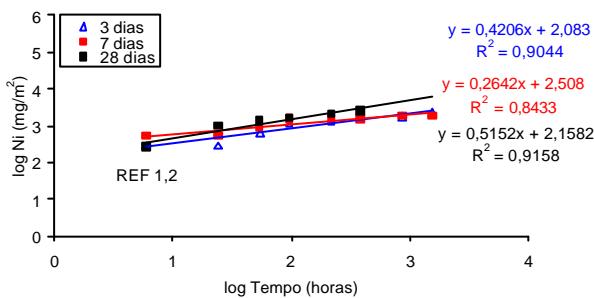
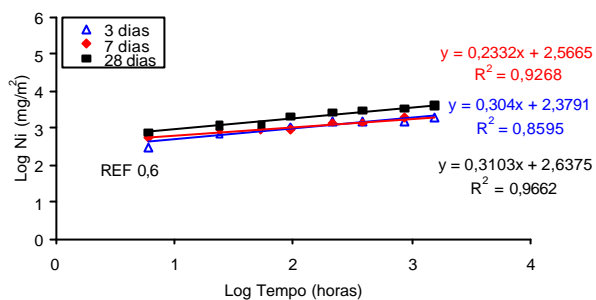
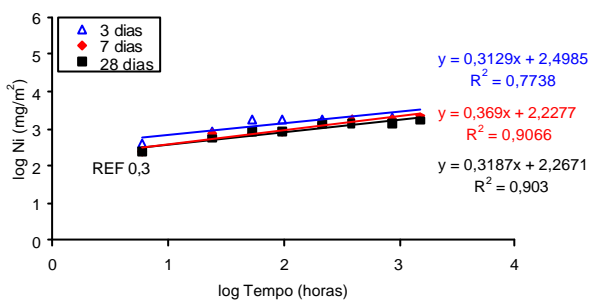
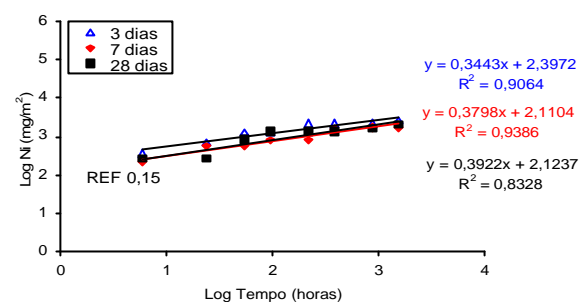
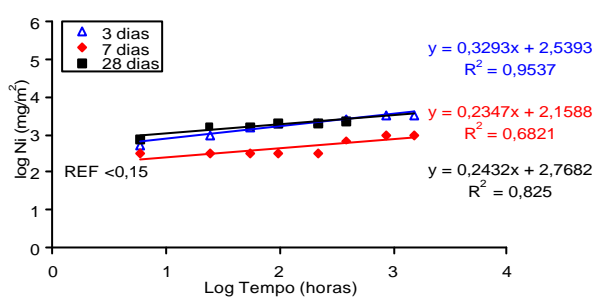


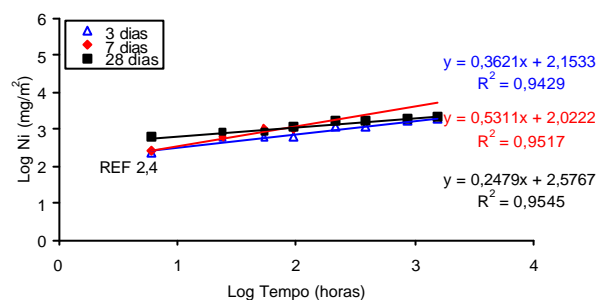
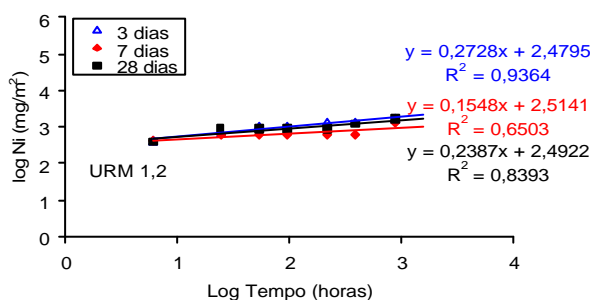
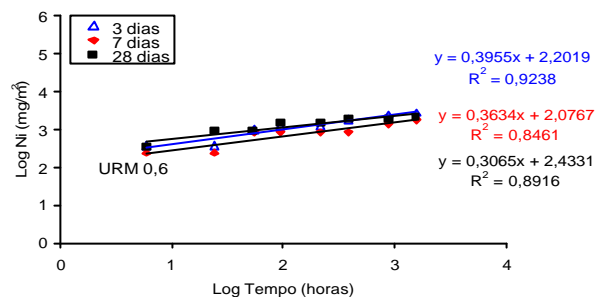
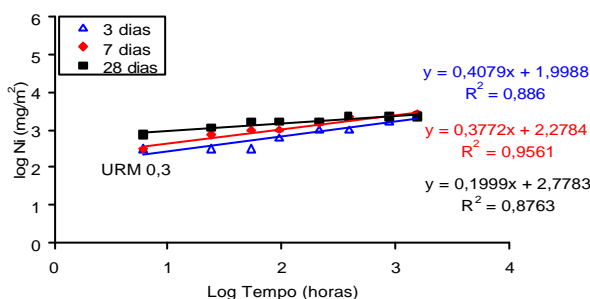
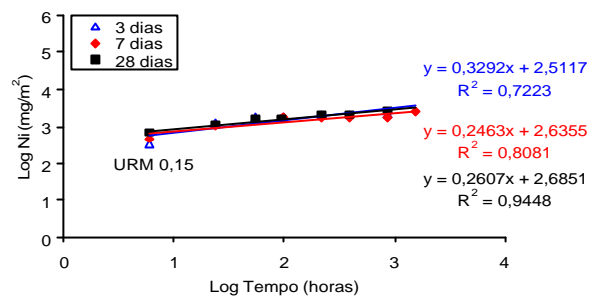
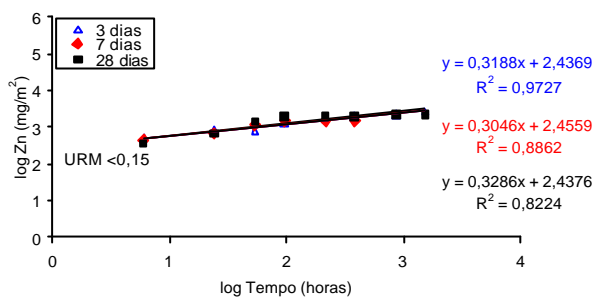
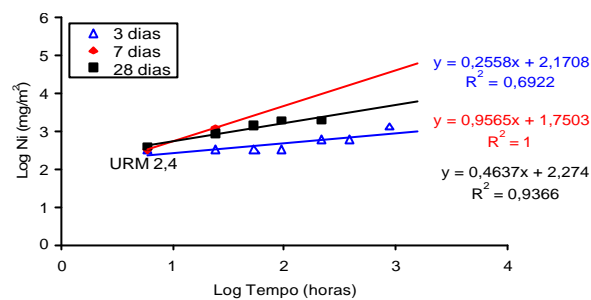
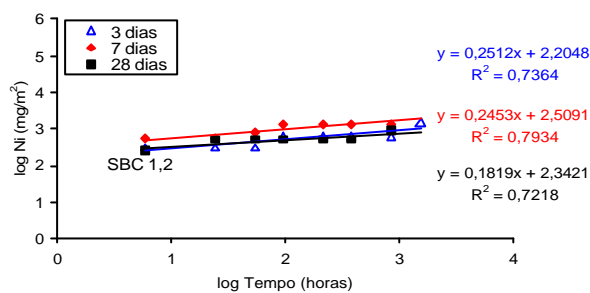
Log Zn x Log tempo





Log Ni x Log tempo





Log Ni x Log tempo

